



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE
IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS DE MOTOCULTOR PARA
USO EN PARCELAS DEL MAGAP DE LA PROVINCIA
DE CHIMBORAZO”**

**DAQUILEMA GUAMBO DENNYS RAFAEL
PULLA MARÍN LUIS ISMAEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DAQUILEMA GUAMBO DENNYS RAFAEL

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS
DE MOTOCULTOR PARA USO EN PARCELAS DEL MAGAP DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán Gallegos.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Ing. Juan de Dios Silva Z.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino A.

ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DAQUILEMA GUAMBO DENNYS RAFAEL

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS DE MOTOCULTOR PARA USO EN PARCELAS DEL MAGAP DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2014-08-06

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Víctor Vásquez V. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan de Dios Silva Z. Director de tesis			
Ing. Miguel Aquino A. Asesor			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Víctor Vásquez V.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

PULLA MARÍN LUIS ISMAEL

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS
DE MOTOCULTOR PARA USO EN PARCELAS DEL MAGAP DE LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán Gallegos

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Ing. Juan de Dios Silva Z.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino A.

ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PULLA MARÍN LUIS ISMAEL

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS DE MOTOCULTOR PARA USO EN PARCELAS DEL MAGAP DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2014-08-06

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Víctor Vásquez V. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Juan de Dios Silva Z. Director de tesis			
Ing. Miguel Aquino A. Asesor			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Víctor Vásquez V.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación técnica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Politécnica de Chimborazo.

Dennys Rafael Daquilema Guambo

Luis Ismael Pulla Marín

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis y toda mi carrera estudiantil a Dios, quien ha estado en todos los momentos buenos y malos de mi vida, brindándome fuerzas para superar las vicisitudes que se han venido presentando a lo largo de esta magnífica experiencia universitaria.

Todo mi sacrificio y dedicación depositados en mi vida estudiantil y en el presente, se las dedico a mis padres José Miguel que aunque no se encuentre conmigo físicamente, desde el cielo siempre me brinda su cuidado, y a mi madre Luz Imelda que con su valentía, amor incondicional y ejemplo han sabido guiar mi vida y a quien le debo todo.

A mi hermano Geovanny que siempre ha sabido brindarme su cariño y a Alicia quien ha sabido apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos.

Dennys Daquilema Guambo

El presente trabajo va dedicado a Dios quien me brindo fortaleza y perseverancia para seguir adelante y no decaer ante las adversidades presentadas durante mi vida universitaria.

A mis Padres: Luis y María por su apoyo y paciencia; a mis hermanos: Nancy, Alex y Diego quienes me han dado muchas alegrías; a mi ahijado Benjamín por ser ejemplo de lucha; a Bertha por su cariño.

Y a todos mis amigos y personas quienes me han impulsado a cumplir mis metas tanto personales como profesionales.

Luis Pulla Marín

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los Ingenieros Juan Silva Zambrano y Miguel Aquino Arroba quienes sin interés alguno han sido una gran guía durante mi carrera y desarrollo de la Tesis.

Dennys Daquilema Guambo

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial a los Ingenieros Juan Silva Zambrano y Washington Rúaless quienes han sido excelentes maestros y amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Luis Pulla Marín

CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES	
1.1 Introducción	- 1 -
1.2 Justificación	- 2 -
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	- 2 -
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	- 2 -
1.2.3 <i>Justificación social</i>	- 2 -
1.3 Objetivos	- 2 -
1.3.1 <i>Objetivo general:</i>	- 2 -
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	- 3 -
2 ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	
2.1 Estado del arte	- 4 -
2.1.1 <i>Arado de cincel</i>	- 4 -
2.1.1.1 <i>Arado de cincel Yomel</i>	- 4 -
2.1.1.2 <i>Eco arado Bouza Green-Farming Technologies</i>	- 5 -
2.1.1.3 <i>Arado de cincel Ribas C7GRTR</i>	- 6 -
2.1.2 <i>Remolques o tráiler de transporte:</i>	- 7 -
2.1.2.1 <i>Remolque TPP-200 de JGN</i>	- 7 -
2.1.2.2 <i>Remolque Hibema</i>	- 8 -
2.1.3 <i>Ruedas de pendiente</i>	- 9 -
2.1.3.1 <i>Studbed roller-wheels BRIELMIER</i>	- 9 -
2.1.3.2 <i>HillSpikes Köppl</i>	- 10 -
2.1.3.3 <i>Grid wheels</i>	- 11 -
2.1.3.4 <i>Case wheels</i>	- 11 -
2.1.4 <i>Segadoras de forrajes</i>	- 12 -
2.1.4.1 <i>Segadora rotativa de discos Splendimo Classic</i>	- 12 -
2.1.4.2 <i>Segadora de tallos largos Agrolander AR-1200CN</i>	- 12 -
2.1.4.3 <i>Segadora de alfalfa Mekatech</i>	- 13 -
2.2 <i>Marco teórico</i>	- 14 -
2.2.1 <i>Tecnología del motocultor:</i>	- 14 -
2.2.1.1 <i>Clasificación de los motocultores</i>	- 14 -
2.2.1.2 <i>Datos generales del motocultor</i>	- 15 -
2.2.1.3 <i>Asentamiento del motocultor</i>	- 15 -
2.2.1.4 <i>Dispositivos de arranque</i>	- 15 -
2.2.1.5 <i>Zonas de Seguridad de arranque</i>	- 16 -
2.2.2 <i>Arado de cincel</i>	- 16 -
2.2.2.2 <i>Modelo de falla de suelo con dientes anchos</i>	- 17 -
2.2.2.3 <i>Falla de suelo con dientes angostos</i>	- 18 -
2.2.2.4 <i>Elementos del arado cincel</i>	- 20 -
2.2.2.5 <i>Determinación de la fuerza en el arado</i>	- 22 -
2.2.3 <i>Remolque</i>	- 22 -
2.2.3.1 <i>Estructura</i>	- 23 -
2.2.3.2 <i>Sistema de suspensión</i>	- 23 -
2.2.3.3 <i>Teoría de ballesta</i>	- 24 -
2.2.3.4 <i>Neumáticos</i>	- 27 -
2.2.3.5 <i>Sistemas de rodaduras</i>	- 27 -
2.2.3.6 <i>Naturaleza y clasificación de cargas:</i>	- 28 -
2.2.4 <i>Ruedas de pendiente</i>	- 30 -
2.2.4.1 <i>Estructura</i>	- 30 -
2.2.4.2 <i>Elementos de agarre</i>	- 30 -
2.2.4.3 <i>Condiciones de estabilidad</i>	- 30 -

2.2.4.4	<i>Análisis de deslizamiento</i>	- 32 -
2.2.4.5	<i>Hipótesis de vuelco</i>	- 33 -
2.2.5	<i>Segadora de forrajes</i>	- 34 -
2.2.5.1	<i>Principios de corte</i>	- 34 -
2.2.5.2	<i>Teoría para el diseño de segadora</i>	- 36 -
2.2.6	<i>Fundamentos del método de elementos finitos</i>	- 41 -
2.2.6.1	<i>Conceptos del método de elementos finitos</i>	- 41 -
2.2.6.2	<i>Modelo y análisis del método de elementos finitos</i>	- 42 -
2.2.6.3	<i>Procedimiento del análisis por elementos finitos usando un software</i>	- 44 -
2.2.7	<i>Procedimiento de pruebas para accesorios agrícolas</i>	- 45 -
2.2.7.1	<i>Comportamiento de la tracción del motocultor:</i>	- 45 -
2.2.7.2	<i>Pérdida de potencia debido a la altura</i>	- 45 -
2.2.7.3	<i>Pérdida de potencia debido a la transmisión.</i>	- 46 -
2.2.7.4	<i>Velocidad de operación.</i>	- 46 -
2.2.7.5	<i>Determinación del porcentaje de patinaje</i>	- 46 -
2.2.7.6	<i>Eficiencia de patinaje</i>	- 47 -
2.2.7.8	<i>Profundidad de trabajo</i>	- 47 -
3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO	
3.1	Metodología del proyecto	- 48 -
3.2.1	<i>FASE 1. Especificaciones</i>	- 48 -
3.2.2	<i>FASE 2. Diseño conceptual</i>	- 48 -
3.2.3	<i>FASE 3. Diseño de ingeniería</i>	- 48 -
3.2.4	<i>FASE 4. Diseño de detalle</i>	- 48 -
3.3	Proceso de diseño.....	- 50 -
3.3.1	<i>Definición del problema</i>	- 50 -
3.3.2	<i>Declaración de la misión</i>	- 50 -
3.3.2.1	<i>Descripción de los equipos.</i>	- 50 -
3.3.2.2	<i>Mercado primario</i>	- 50 -
3.3.2.3	<i>Postulados</i>	- 51 -
3.3.2.4	<i>Personas interesadas.</i>	- 51 -
4.	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	
4.1	Objetivo de la investigación.....	- 52 -
4.2	Necesidades del operario.....	- 52 -
4.3	Necesidades del cliente	- 53 -
4.4	Matriz NECESIDAD-MÉTRICA:	- 53 -
5.	DISEÑO CONCEPTUAL	
5.1	Establecimiento de funciones.....	- 55 -
5.1.1	<i>Caja negra</i>	- 55 -
5.1.1.1	<i>Flujos de arado cincel</i>	- 55 -
5.1.2	<i>Estructura funcional.</i>	- 56 -
5.2	Generación de alternativas	- 57 -
5.3	Metodología de evaluación de resultados	- 57 -
5.3.1	<i>Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de proyección</i>	- 57 -
5.3.2	<i>Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de puntuación</i>	- 58 -
5.3.3	<i>Descripción de los criterios</i>	- 59 -
5.3.4	<i>Conceptos solución</i>	- 60 -
5.3.4.1	<i>Descripción ruta solución 1</i>	- 62 -
5.3.4.2	<i>Descripción ruta solución 2</i>	- 62 -
5.3.5	<i>Evaluación de las rutas de solución</i>	- 62 -
5.3.5.1	<i>Criterios de evaluación.-</i>	- 62 -
5.3.5.2	<i>Evaluación del peso específico de cada criterio</i>	- 63 -
5.3.5.3	<i>Evaluación del peso específico de las soluciones para cada criterio</i>	- 63 -

5.3.5.4	<i>Cálculo de tablas de conclusiones.</i>	- 65 -
5.3.5.5	<i>Evaluación económica y técnica.</i>	- 65 -
5.3.5.6	<i>Reflexionar sobre los resultados</i>	- 67 -
6.	DISEÑO DE INGENIERÍA	
6.1	Diseño de elementos mecánicos.....	- 72 -
6.1.1	<i>Datos de campo</i>	- 72 -
6.2	Necesidad de uso de los equipos	- 72 -
6.2.1	<i>Arado de cincel</i>	- 72 -
6.2.1.1	<i>Brazo de arado</i>	- 72 -
6.2.1.2	<i>Arado de Cincel completo.</i>	- 78 -
6.2.2	<i>Remolque</i>	- 83 -
6.2.2.1	<i>Estructura de remolque</i>	- 83 -
6.2.2.2	<i>Barra de Tiro</i>	- 90 -
6.2.3	<i>Ruedas de pendiente</i>	- 96 -
6.2.3.1	<i>Estructura principal</i>	- 96 -
7.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y COSTOS.	
7.1	Tecnología de la construcción.....	- 100 -
7.1.1	<i>Máquinas y herramientas</i>	- 100 -
7.1.2	<i>Operaciones tecnológicas</i>	- 101 -
7.1.3	<i>Curso de construcción</i>	- 102 -
7.1.3.1	<i>Arado de cincel.</i>	- 102 -
7.1.3.2	<i>Remolque</i>	- 106 -
7.1.3.3	<i>Ruedas de pendiente</i>	- 108 -
7.1.4	<i>Cronogramas de actividades en la construcción</i>	- 110 -
7.1.4.1	<i>Arado de cincel</i>	110
7.1.4.2	<i>Remolque</i>	- 111 -
7.1.4.3	<i>Ruedas de pendiente</i>	- 112 -
7.2	Costos.....	- 112 -
7.2.1	<i>Costos directos</i>	- 113 -
7.2.2	<i>Costos indirectos.</i>	- 113 -
7.2.3	<i>Arado de cincel</i>	- 113 -
7.2.3.1	<i>Materiales y accesorios.</i>	- 113 -
7.2.4	<i>Remolque</i>	- 117 -
7.2.4.1	<i>Materiales y accesorios.</i>	- 117 -
7.2.5	<i>Ruedas para pendiente</i>	- 122 -
7.2.5.1	<i>Materiales y accesorios</i>	- 122 -
7.2.6	<i>Costo total del proyecto</i>	- 125 -
8.	PRUEBAS DE PROTOTIPOS	
8.1	Alcance.....	- 126 -
8.2	Pruebas de Motocultor	- 126 -
8.2.1	<i>Datos de Motocultor.</i>	- 126 -
8.2.2	<i>Pérdida de potencia debido a la altura</i>	- 126 -
8.2.3	<i>Pérdida de potencia debido a la transmisión</i>	- 128 -
8.2.4	<i>Velocidad de avance.</i>	- 128 -
8.2.5	<i>Eficiencia del patinaje</i>	- 129 -
8.2.6	<i>Pérdida de potencia por patinaje</i>	- 129 -
8.3	Pruebas de Arado de cincel	- 130 -
8.3.1	<i>Profundidad de trabajo.</i>	- 130 -
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
9.1	Conclusiones	- 132 -
9.2	Recomendaciones.....	133

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS
PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Clasificación de los motocultores	14 -
2	Requerimiento de fuerzas, energía y potencia de las herramientas agrícolas	22 -
3	Valores típicos de constantes elásticas de ballestas	26 -
4	Valores típicos debido a la geometría de la rueda.....	29 -
5	Factores de seguridad.....	38 -
6	Manifestaciones de los clientes: (Arado)	52 -
7	Tablas de necesidad (Arado).....	53 -
8	Matriz necesidad-métrica	54 -
9	Puntuación en la matriz de proyección	57 -
10	Criterios de evaluación para matriz de proyección	58 -
11	Desempeño relativo para la matriz de puntuación	59 -
12	Criterios de evaluación para la matriz de puntuación	59 -
13	Criterios de evaluación.....	62 -
14	Puntuación de conceptos	63 -
15	Evaluación del peso específico del criterio regulación y control	63 -
16	Evaluación del peso específico del criterio eficiencia	64 -
17	Evaluación del peso específico del criterio costo.....	64 -
18	Evaluación del peso específico del criterio facilidad de fabricación	64 -
19	Cálculo de tablas de conclusiones.....	65 -
20	Evaluación económica	65 -
21	Evaluación técnica	66 -
22	Lista de herramientas	100 -
23	Lista de máquinas herramientas y equipos.....	101 -
24	Designación de instrumentos de medición y verificación.....	101 -
25	Operaciones tecnológicas.....	102 -
26	Cursograma de construcción	102 -
27	Cronograma de actividades del arado de cincel	110 -
28	Cronograma de actividades del remolque	111 -
29	Cronograma de actividades del remolque	112 -
30	Costos materiales y accesorios.....	113 -
31	Costos por equipos y maquinaria utilizados.....	115 -
32	Costos por mano de obra.....	116 -
33	Costos por transporte.....	116 -
34	Valor total de costos directos	116 -
35	Costos indirectos	117 -
36	Costo total del arado de cincel	117 -
37	Costos por materiales y accesorios utilizados.....	118 -
38	Costos de equipos y maquinaria utilizados	120 -
39	Costos por mano de obra.....	120 -
40	Costos por transporte.....	120 -
41	Valor total costos directos	121 -
42	Costos indirectos	121 -
43	Costo total del remolque	121 -
44	Costos de materiales y accesorios utilizados.....	122 -
45	Costo de equipos y maquinas utilizados	123 -
46	Costo por mano de obra	123 -
47	Costo por transporte	123 -
48	Valor total de costos directos	124 -
49	Costos indirectos	124 -
50	Costo total de las ruedas de pendiente	124 -
51	Costo total del proyecto	125 -

52	Valores de tiempo del desplazamiento del motocultor en 15 m.....	- 128 -
53	Medidas de la profundidad de trabajo	- 130 -

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Arado de cincel Yomel de 5 púas	- 5 -
2 Ecoarado.....	- 6 -
3 Arado de cincel Ribas C5GMDRR	- 7 -
4 Remolque TPP-200 de la marca JGN	- 8 -
5 Remolque HIBEMA	- 9 -
6 Studded Roller-Wheels Brielmier	- 10 -
7 HillSpikes Köppl.....	- 10 -
8 Grid wheels	- 11 -
9 Case wheels.....	- 11 -
10 Segadora rotativa de discos Splendimo Classic	- 12 -
11 Segadora de tallos largos Agrolander AR-1200CN	- 13 -
12 Segadora de alfalfa Mekatech	- 14 -
13 Zonas de seguridad en el arranque de motocultor.....	- 16 -
14 Modelo de falla de suelo producido por un diente recto y ancho.....	- 17 -
15 Relación del ángulo de ataque con la fuerza de arrastre	- 18 -
16 Efecto del diseño de la herramienta sobre la fuerza de arrastre	- 19 -
17 Forma de los brazos de cincel flexible.....	- 20 -
18 Reja de contracción	- 21 -
19 Reja con alas	- 21 -
20 Ballesta o paquete de resortes	- 24 -
21 Dimensiones que se consideran en el análisis de un paquete de resortes.....	- 25 -
22 Muelle helicoidal.....	- 26 -
23 Barra de torsión	- 27 -
24 Sistema de rodadura	- 27 -
25 Diagrama de cuerpo libre de motocultor.....	- 31 -
26 Esquema de cuchilla y contracuchilla	- 34 -
27 Diagrama de corte por impacto	- 35 -
28 Relación entre la velocidad de corte, el tiempo y la penetración	- 35 -
29 Clasificación de las segadoras rotativas.....	- 36 -
30 Diagrama de transmisión por poleas y correas.....	- 37 -
31 Gráfico de selección del perfil de correa.....	- 39 -
32 Gráfico de selección del perfil de la correa.....	- 39 -
33 Malla de rigidez	- 41 -
34 Malla de rigidez	- 42 -
35 Condiciones de contorno.....	- 43 -
36 Resultados del MEF.....	- 43 -
37 Principios de diseño basados en metodología de Pahl y Beitz.....	- 49 -
38 Caja Negra (Arado de Cincel).....	- 55 -
39 Caja transparente (análisis de funciones del arado de cincel).....	- 56 -
40 Matriz Morfológica	61
41 Evaluación económica	- 66 -
42 Evaluación técnica	- 67 -
43 Evaluación de propuestas	- 67 -
44 Equipo alternativa 2	- 68 -
45 Modelación equipo alternativa 2.....	- 68 -
46 Equipo alternativa 1	- 69 -
47 Modelación equipo alternativa 1	- 69 -
48 Equipo alternativa 2	- 70 -
49 Equipo alternativa 2	- 70 -
50 Equipo alternativa 2	- 71 -
51 Equipo alternativa 2	- 71 -

52	Dimensiones generales del brazo de arado	- 73 -
53	Brazo de Arado en entorno de análisis.....	- 75 -
54	Brazo de arado mallado para análisis.....	- 75 -
55	Asignación de punto de empotramiento.....	- 76 -
56	Asignación de la fuerza en la reja de corte.....	- 76 -
57	Deformación máxima (arado de cincel).....	- 77 -
58	Coefficientes de seguridad (arado de cincel).....	- 77 -
59	Dimensiones generales de arado de cincel.....	- 78 -
60	Arado en entorno de análisis.....	- 79 -
61	Mallado de arado de cincel	- 80 -
62	Punto de empotramiento en el arado	- 80 -
63	Fuerzas actuantes en el arado	- 81 -
64	Deformación máxima del arado de cincel.....	- 81 -
65	Coefficientes de seguridad del arado de cincel	- 82 -
66	Zona con menor valor de coeficiente de seguridad.....	- 82 -
67	Dimensiones generales del remolque.....	- 83 -
68	Propiedades del remolque	- 84 -
69	Estructura en entorno de análisis de MEF.....	- 85 -
70	Mallado de la estructura del remolque	- 86 -
71	Puntos de apoyo del remolque	- 86 -
72	Carga aplicada en el remolque	- 87 -
73	Deformación máxima.....	- 87 -
74	Deformación máxima.....	- 88 -
75	Factor de seguridad	- 88 -
76	Factor de seguridad	- 89 -
77	Localización del mínimo valor de coeficiente de seguridad	- 89 -
78	Barra de tiro en el ambiente de MEF	- 91 -
79	Mallado de la barra de tiro	- 92 -
80	Punto de soporte de la barra de arrastre	- 92 -
81	Ubicación de la fuerza.....	- 93 -
82	Puntos fijos en la barra de tiro.....	- 93 -
83	Colocación de la fuerza.....	- 94 -
84	Máximo factor de seguridad.....	- 94 -
85	Acercamiento de la zona más afectada en la barra de tiro	- 95 -
86	Deformación máxima en la barra de tiro.....	- 95 -
87	Valores de coeficientes de seguridad en la barra de tiro	- 96 -
88	Modelado de rueda para pendiente	- 96 -
89	Rueda en entorno MEF	- 97 -
90	Mallado de ruedas de pendiente	- 98 -
91	Asignación de cargas.....	- 98 -
92	Coefficientes de seguridad	- 98 -
93	Deformación máxima producida.....	- 99 -
94	Cursograma bastidor	- 103 -
95	Cursograma sistema de control de profundidad.....	- 104 -
96	Cursograma sistema de regulación de ancho de trabajo.....	- 104 -
97	Cursograma sistema de arado.....	- 105 -
98	Cursograma sistema de acople	- 105 -
99	Cursograma de bastidor.....	- 106 -
100	Eje principal	- 107 -
101	Barra de tiro	- 107 -
102	Sistema de acople.....	- 108 -
103	Sistema de rodadura (Acople).....	- 108 -
104	Sistema de tracción	- 109 -
105	Sistema de sujeción.....	- 109 -
106	Toma de medida de la profundidad de arado	- 130 -

107	Terreno arado	- 131 -
108	Surco de arado cincel.	- 131 -

SIMBOLOGÍA

i	Relación de transmisión	
F	Fuerza generada por el suelo	N
A	Área de corte	cm ²
C	Rango de requerimiento	
b	Ancho de la hoja de resorte	mm
h	Espesor de la hoja de resorte	mm
n	Número de hojas	
σ_{ad}	Esfuerzo máximo admisible	N/cm ²
L	Largo (longitud entre ejes)	mm
P	Peso estático que soportar el remolque	kg
\emptyset	Flecha bajo carga	mm
K	Constante elástica	N/m
E	Módulo de elasticidad	Pa
Cd	Carga de diseño	kg
Cm	Carga muerta (Peso)	kg
ψ	Coeficiente de resistencia al rodado	
R	Resistencia al rodado	N
Cn	Coeficiente debido a la geometría de la rueda	

F_t	Fuerza de tiro	N
β	Ángulo de inclinación del accesorio agrícola con respecto al suelo	°
m	Masa	kg
g	Gravedad	m/s ²
μ	Coeficiente de rozamiento	
N	Fuerza Normal	N
α	Ángulo máximo de inclinación antes del deslizamiento	°
v_c	Velocidad crítica	m/s
D	Diámetro del tallo	mm
F_{Cmax}	Fuerza de corte máxima	N
m_{ef}	Masa efectiva del tallo	kg
D_p	Diámetro primitivo de la polea lenta	mm
d_p	Diámetro primitivo de la polea rápida	mm
n_1	Velocidad angular de la polea lenta	rad/s
n_2	Velocidad angular de la polea rápido	rad/s
P_D	Potencia de diseño	HP
C_1	Factor de diseño	

LISTA DE ABREVIACIONES

MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
CAD	Computer Aided Desing
CAE	Computer Aided Engineering
ISO	International Organization for Standardization
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
CENEMA	Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura

LISTA DE ANEXOS

- A** Matriz Necesidad-Métrica
- B** Cajas negras
- C** Caja transparente
- D** Matriz de evaluación
- E** Matriz de proyección
- F** Matriz de puntuación
- G** Matriz morfológica

RESUMEN

En la provincia de Chimborazo se desarrolla una agricultura con pequeñas unidades de producción sin disponer de herramientas e implementos que faciliten su trabajo y hagan más sustentable y sostenible las labores del campo.

En la Facultad de Mecánica se ha desarrollado tecnológicamente el diseño y construcción de los implementos para motocultor: un arado cincel, un remolque, ruedas para terrenos con pendiente, y una segadora rotativa.

Los métodos utilizados son el de ingeniería concurrente y el de Pahl y Beitz, que consta de cuatro etapas: planificación del producto, diseño conceptual, diseño de conjunto y detalle. En la construcción de los prototipos se ha tomado en cuenta las especificaciones técnicas.

De las pruebas realizadas en el campo: en el remolque se ha probado una capacidad de carga de 750 kg y una cómoda maniobrabilidad. El laboreo del arado cincel da 20 cm de profundidad y hasta 40 cm de ancho variable de trabajo. Las ruedas montadas a los neumáticos del motocultor le dan estabilidad en terrenos con pendientes de hasta 25°. El prototipo virtual de la segadora, presenta ventajas a similares en peso, sistemas de transmisión y de corte.

El desarrollo de implementos en nuestro medio para motocultor es una opción para la práctica de una agricultura de conservación del recurso suelo y de una transición de la forma tradicional de laboreo a una agricultura sustentable.

Se recomienda complementar el equipamiento al motocultor con implementos: bomba de agua, cosechadora de cereales, aireadores de pasto y sembradoras, que contribuyan a realizar labores de labranza mínima y siembra directa.

SUMMARY

In Chimborazo Province is developed an agriculture with small production units without dispose of tools that make easier its work and make more sustainable the farming work.

In Mechanical Faculty has been developed technologically the design and construction of implements for rototiller: a chisel plough, a trailer, wheels for sloping ground and a rotatory mower.

The methods used are the concurrent engineering and the Pahl and Beitz that consist of four phases: planning of product, conceptual design, overall design and detail. In the construction of the prototypes has been taken into account the technical specifications.

Of the tests made in the countryside: in the trailer it has verified a charge capacity of 750 kg and a comfortable manoeuvrability. The working of chisel plough is equals to 20 cms of deeply and until 40 cms of variable wide work. The mounted wheels to the tyres of rototiller give stability in sloping ground until 25°. The virtual prototype of the mower, presents advantages to similar in weight, transmission systems and cutting.

The development of implements in our environment for rototiller is an option for the practice of a conservation agriculture of soil resource and the transition of traditional way of working to a sustainable agriculture.

It is recommended to complement the equipment to the rototiller with implements: water pump, cereal harvester, aerators grass and sowings that contribute to make works of minimal farming and direct sowing.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En nuestro país debido a las grandes extensiones de terreno, los mismos que cuentan con apropiadas condiciones que favorecen al cultivo de un sin número de productos agrícolas, han permitido que nuestro país se caracterice por su abundante y variada agricultura, pero hasta hace no muchos años a la agricultura no se le ha sabido dar la apropiada importancia tecnológica, pero actualmente el campo tecnológico a direccionado su interés a la tecnificación de metodologías de cultivos y muy en especial al diseño de maquinaria y accesorios agrícolas que buscan mejorar las eficiencias en múltiples actividades agrarias tales como siembra, abonado, transporte de productos, cosecha entre otras.

Una de las principales herramientas desarrolladas para la labor agraria luego del tractor ha sido el diseño de motocultores, equipos que proporcionan potencia facilitando algunas actividades agrarias. Una de las principales dificultades superadas con motocultores es la eliminación de daños al suelo producido por el peso excesivo del tractor, el mismo que produce compactación e incluso en ocasiones podría producir erosión al suelo provocando graves pérdidas de productividad agrícola.

Esta tecnología de motocultores ha sido adoptada por nuestro país, que busca mejorar el rendimiento agrario pero que lastimosamente presentan varios inconvenientes debido a que estos equipos no se encuentran adaptados a las condiciones geográficas y agrarias de Ecuador.

Los motocultores presentan grandes ventajas tanto agrarias como económicas frente a las tradicionales técnicas de agricultura, esta característica ha sido puesta al descubierto por otros países, que enfocan sus estudios al mismo, con el fin de obtener su máximo provecho.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica. Con el diseño de implementos agrícolas que complementen el trabajo generado por el motocultor, se consigue aumentar la eficiencia del proceso agrícola, debido a que esta tecnificación disminuye tiempo y esfuerzos. Existen grandes problemas que ocasionan los actuales sistemas de arado que implican la utilización de grandes tractores que por causa de su peso producen efectos negativos al suelo como es la compactación, con el correcto equipamiento de los motocultores se evitará esta problemática.

1.2.2 Justificación económica. El proyecto resulta factible debido a que la adquisición de accesorios para motocultor resulta mucho más económico que accesorios para grandes tractores que se ha utilizado en el laboreo agrícola tradicional, generando beneficios importantes.

El mercado actual de motocultores, ofrece paquetes comerciales donde se promociona el motocultor con un único accesorio denominado rotavator, el mismo que a más de ser costoso no proporciona un eficaz trabajo agrícola. Este es un punto favorable para el desarrollo de la presente tesis, debido a que con el diseño de accesorios más adecuados aumentarán la diversificación de funciones a realizar y por tanto, disminuirán los costos de producción agrícola.

1.2.3 Justificación social. El presente tema de tesis surge de la necesidad presentada por el Ministerio de agricultura, ganadería y pesca (MAGAP) de la provincia de Chimborazo, que actualmente cuenta con motocultores que han sido entregados en varias zonas de nuestro país pero, que no han podido ser utilizados debido a que no cuentan con los suficientes y apropiados accesorios para su buen funcionamiento, produciendo un efecto negativo en el sector campesino.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general: Diseñar, construir y realizar pruebas de implementos agrícolas de motocultor para uso en parcelas del MAGAP de la provincia de Chimborazo.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar mediante el método de Pahl y Beitz los siguientes implementos para motocultor de 15 HP:

- Arado de cincel
- Ruedas para terrenos en pendiente
- Remolque para transporte acoplable para vehículos pequeños

Construir los prototipos de laboreo del suelo, de transporte de productos y adaptación para terrenos en pendiente.

Realizar las pruebas de los implementos agrícolas para motocultor.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Es de importancia analizar los diferentes equipos que se encuentran tanto en el mercado nacional como el internacional, que cumplen con igual o semejante función a la que se desea implementar. Los implementos que se asocian a nuestra necesidad son:

2.1.1 *Arado de cincel*

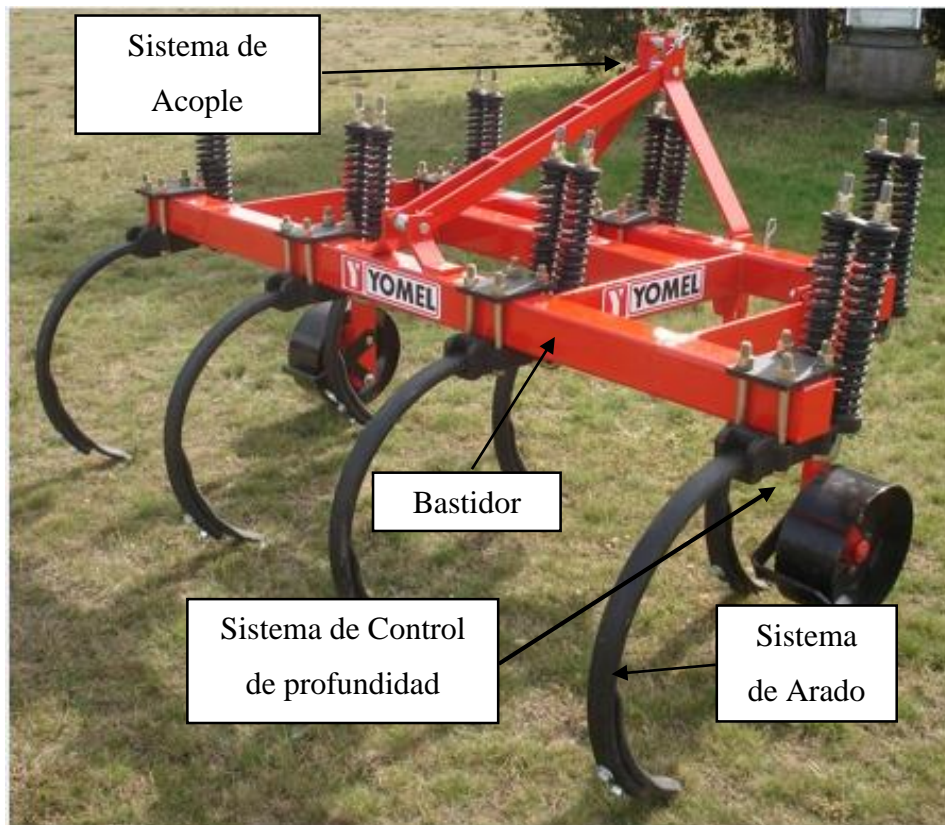
2.1.1.1 *Arado de cincel Yomel (Argentina).* Equipo agrícola diseñado como accesorio de tractor, cuenta con una base para 5 púas que mediante la adición de módulos especializados puede convertirse en un equipo de 7 y 9 rejas, sus principales elementos se encuentran soportados mediante un chasis, que permite regular la distancia entre rejas pudiendo tener valores dimensionales de 21 a 35 cm, esta capacidad de modificar su tamaño y la abertura de sus elementos actuantes, garantiza que el apero cuenta con una excelente capacidad de adaptación al suelo y una potencia adecuada.

Cuenta con un novedoso sistema de seguridad que protege a sus principales elementos de trabajo, el sistema consiste en la inclusión de un elemento mecánico que cumple la misma función a un fusible en un sistema eléctrico, dicho elemento es el encargado de fallar en caso de que la exigencia o la carga de trabajo supere a las consideraciones tomadas durante el diseño, estos casos se presentan cuando el arado durante su funcionamiento se intercepte con algún obstáculo que podría traducirse en grave daños..

Finalmente es un apero de tipo de enganche de tres puntos, reduciendo las exigencias que se podrían transmitir a su fuente de potencia (tractor), cuenta además con un sistema de control de profundidad, mediante enganche de una rueda.

Su principal función es generar una rotura en el suelo sin volteo del mismo, mediante su trabajo generan aireación que mejora las características y propiedades del suelo.

Figura 1. Arado de cincel Yomel de 5 púas



Fuente: <http://www.viarural.com.mx/agricultura/maquinaria-agricola/yomel/arados-de-cinceles.htm>

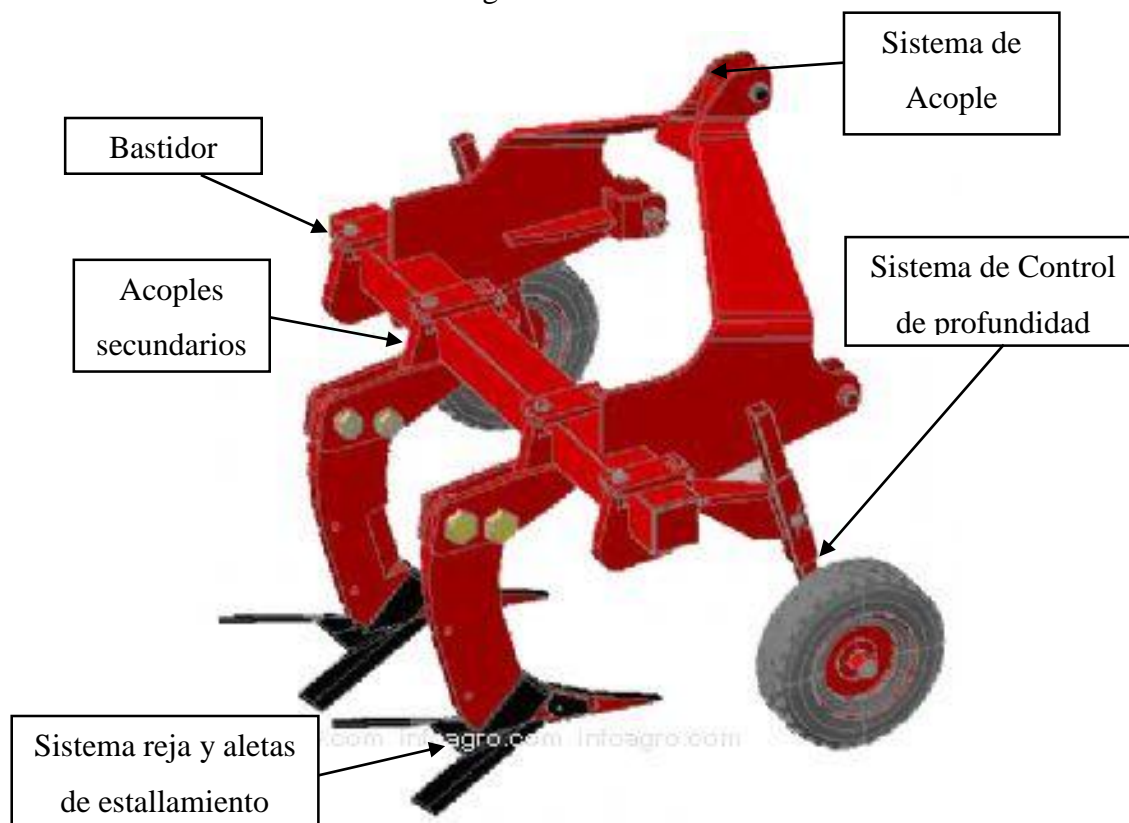
2.1.1.2 Eco arado Bouza Green-Farming Technologies (Estados Unidos). El eco arado es un apero de elementos rígidos, ideal para el trabajo con motocultores, es de tipo enganche de tres puntos. Consta de un chasis en el cual se encuentran montadas las rejas que realizan el trabajo.

Está provisto de un sistema de arado que cuenta con dos brazos, en los que se encuentran montados rejas y aletas de estallamiento horizontal del suelo, que le proporcionan un gran desempeño.

Una de las principales características de este apero es que debido a su diseño no invierte las capas del suelo, generando descompactación en la profundidad del suelo, su principal función es corte y estallamiento del suelo sin producir inversión.

Los brazos de arado pueden ser intercambiables, pudiendo convertirse en un apero de 3, 5, o 7 elementos de arado, convirtiéndose en un arado muy versátil.

Figura 2. Ecoarado



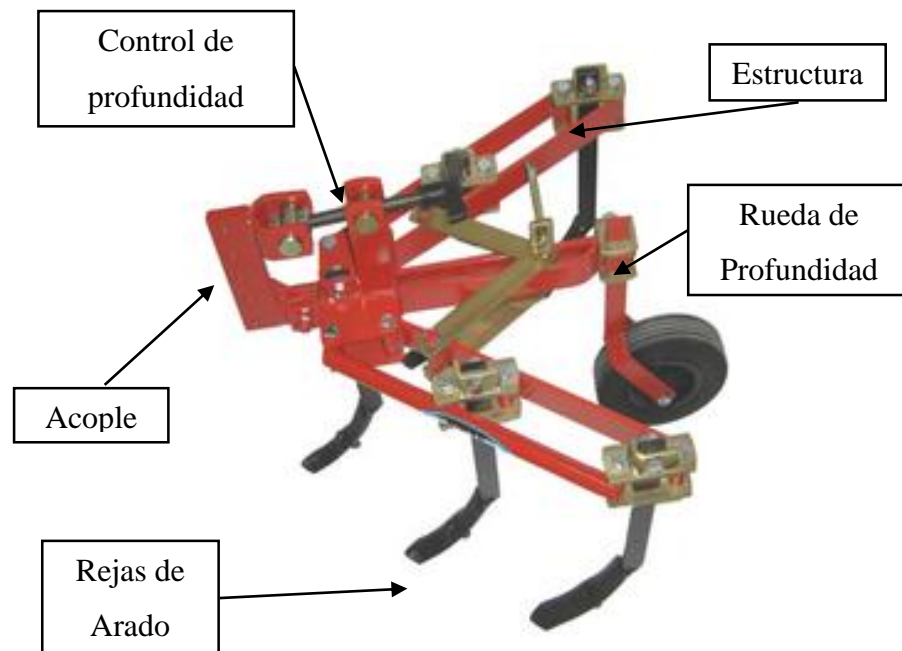
Fuente: http://www.infoagro.com/empresas/producto.asp?ide=12425&idp=4&_ecorado+para+invernaderos&_bouza+green-farming+technologies

2.1.1.3 Arado de cincel Ribas C7GRTR (España). Accesorio agrícola diseñado para motocultor, cuenta con cinco cinceles de corte rígido distribuidos en dos hileras, del análisis se aprecia que cuenta con mecanismos de fácil construcción, mantenimiento y desmontaje, permitiendo el intercambio de cada uno de sus elementos de trabajo.

Cuenta con un sistema de control de profundidad constituido por una rueda que se acopla a la parte posterior, mientras que en la parte delantera cuenta con un mecanismo o sistema de acople al motocultor. Su versátil diseño nos permite adaptar al equipo a diferentes anchos de trabajo mediante la apertura o cierre de sus elementos actuantes que se encuentran montados en una estructura. Es un equipo muy propicio para adaptarse a motocultores que poseen potencias de entre 8 a 14 CV.

El ecoarado tiene buenos desempeños en cualquier tipo de suelo, y se adapta de una forma apropiada al tractor, para el que principalmente se encuentran diseñados. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

Figura 3. Arado de cincel Ribas C5GMDRR



Fuente: <http://www.ribas.biz/ES/Agricola/Detalle.asp?name=C5GMDRR>

2.1.2 Remolques o tráiler de transporte: Con la finalidad de aprovechar la potencia de arrastre que presentan algunos equipos agrícolas se han diseñado y acoplado remolques, lo que se aprovecha para el transporte de carga en el campo.

Entre los principales tipos de remolques tenemos:

2.1.2.1 Remolque TPP-200 de JGN (España). Remolque diseñado para motocultor que posee una carga máxima de 745 Kg. Se trata de un remolque semisuspendido de un solo eje. Está provisto de un sistema de frenado de palanca y dispone de un basculante hidráulico. Sus dimensiones son 2000 x 1270 mm y la de sus ruedas es 165/70R13.

Su plataforma reposa sobre un bastidor que cuenta con un acople para la unión con el respectivo motocultor. No cuenta con paredes laterales sino solamente con un respaldo frontal que impide el movimiento de la carga hacia la parte delantera.

Se constituye en una buena opción de carga debido a que está provisto de una superficie metálica sobre la cual se colocarán las cargas de trabajo, ideal para el transporte de forrajes y abonos. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

Figura 4. Remolque TPP-200 de la marca JGN



Fuente: <http://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Remolques-motocultores-JGN-TPP-200-82525.html>

2.1.2.2 Remolque Hibema (España). Remolque de un solo eje desarrollado por HIBEMA para motocultores, ideal para soportar cargas que pueden ir desde 400 a 750 Kg. Entre sus principales medidas tenemos 1,2-1,3-1,5 y 1,7 m de largo. Su sistema de frenado es mediante pedal que acciona un freno de estacionamiento. Están equipados con asiento para el conductor y cajón para herramientas.

El sistema de enganche consta de un acople con dos grados de movilidad, es construido con dos tubos circulares concéntricos de diferentes diámetros, el pequeño se introduce en el de mayor diámetro, permitiendo que se mueva libremente causando el segundo grado de movilidad.

Dispone de un novedoso porta herramientas que se coloca en el asiento del conductor, aprovechando espacio y material de construcción, su sistema de suspensión es por ballestas convirtiéndolo

Figura 5. Remolque HIBEMA



Fuente: http://www.agromaquinaria.es/agronetsl/ficha_producto_distribuidor.php?idempresa=790&idproducto=12726

2.1.3 Ruedas de pendiente. Las ruedas de pendiente permiten al motocultor aumentar la estabilidad lateral, cuando el equipo trabaje en terrenos con pendiente, evitando el vuelco, que adicionalmente permitan cualquier otro trabajo agrícola.

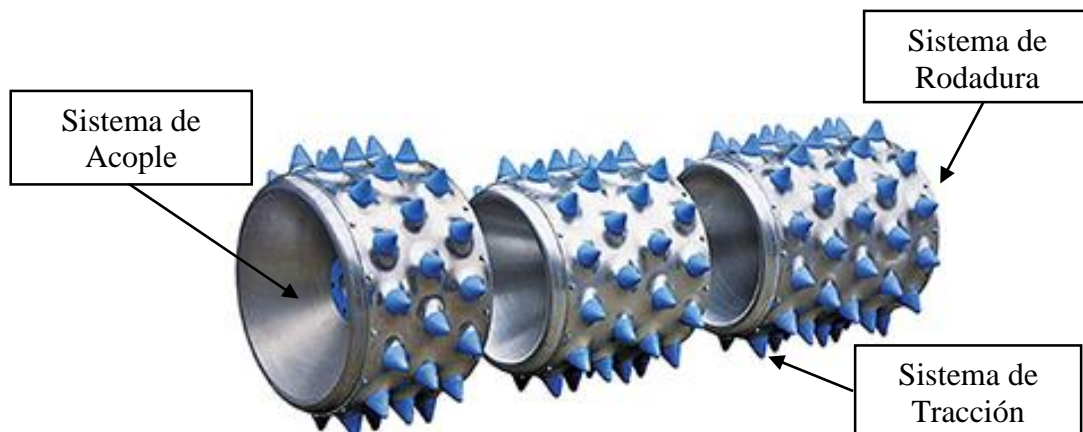
Dentro de las propuestas por casas fabricantes mencionaremos las siguientes:

2.1.3.1 Studbed roller-wheels BRIELMIER, (Alemania). Brielmier es una compañía alemana que ha desarrollado ruedas metálicas que aumenten la estabilidad de tractores de dos ruedas.

Dichas ruedas están provistas por puntas de penetración, las mismas que son desmontables y están montadas en forma de 3, 4 o 5 hileras. Su cuerpo principal donde se encuentran montadas las puntas, es un cilindro de 540 mm de diámetro, que en su parte interior tiene forma cónica que facilita el desalojo de tierra que se introduce por el uso mismo de las ruedas.

Su función es permitir trabajos en terrenos con pendiente, para su montaje se debe retirar el neumático del motocultor para permitir su sustitución por las ruedas de pendiente, es necesario la selección de la rueda según el valor de la pendiente en la cual se va a trabajar que estará en función de su número de hileras.

Figura 6. Studded Roller-Wheels Brielmaier



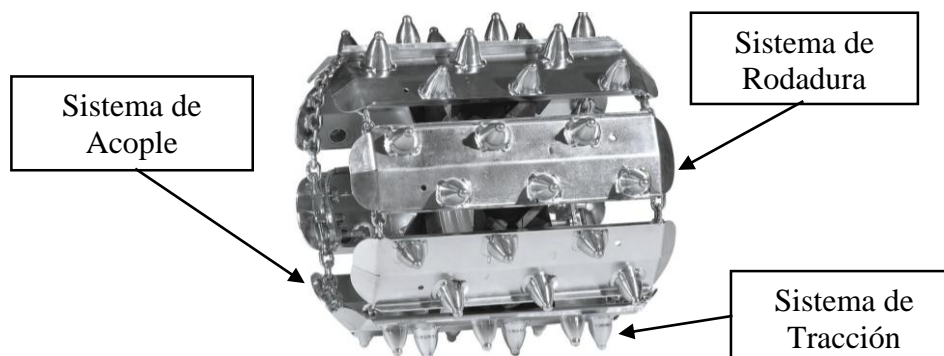
Fuente: http://www.brielmaier.com/index.php?menu=products_sub1_4&lang=en

2.1.3.2 HillSpikes Köppl (Alemania). Las HillSpikers son implementos de motocultor desarrollados por la empresa Köppl, que se adaptan a los neumáticos del motocultor cuando se requiera trabajar en un terreno con pendiente, su sistema de tracción incorpora puntas cónicas con extremos esféricos facilitando la penetración del suelo.

Su sistema de rodadura a diferencia de otros modelos de ruedas, no son estructuras o cuerpos completamente macizos, ya que utilizan placas dobles soldadas unidas por cadenas, esta particular forma permite que las ruedas de pendiente se abran libremente.

Su sistema de acople está fabricado de placas triangulares tipo tope, soldadas en la parte posterior de las placas del sistema de rodadura, con la finalidad de formar un encajonamiento del neumático al momento de rodearlo siendo unido y ajustado por pernos con un tensor.

Figura 7. HillSpikes Köppl



Fuente: <http://www.landwirt.com/gebrauchte,1020185,Kppl-Compact-Comfort-CC-2.html>

2.1.3.3 Grid wheels (Suiza). La compañía suiza Rapid Technic Ag, ha contribuido con el diseño de ruedas para motocultor que permitan la adaptación del mismo en terrenos de pendiente, sus ruedas incorporan un sistema de tracción por medio de puntas tipo estrella. Su sistema de rodadura está integrado por platinas que poseen una forma de jaula, característica que mejora la rodadura y que en su interior se produzca acumulación de residuos de suelo. Su sistema de acople está provisto de una placa que aloja pernos de sujeción, que servirán para motocultores de ejes cortos.

Figura 8. Grid wheels



Fuente: <http://www.rapid.ch/en/rapid-products/>

2.1.3.4 Case wheels (Suiza). Las ruedas suizas Cage wheels de Rapid Technic AG, son ruedas que se colocan en forma de extensión al neumático del motocultor, con lo que se consigue un aumento en el ancho de trocha. Están provistas de un sistema de tracción y rodadura formado por una jaula de platinas curvas y un anillo dentado en los extremos, su sistema de acople está hecho para unirse a los neumáticos por medio de una prolongación del eje.

Figura 9. Case wheels



Fuente: <http://www.rapid.ch/en/rapid-products/single-axle-equipment-with-a-fixed-handlebar/rapid-euro.html>

2.1.4 Segadoras de forrajes. Las segadoras de forrajes son máquinas agrícolas de corte de forrajes e igualación de potreros, es necesario que este trabajo se lo realice con un corte limpio con el fin de permitir un rápido rebrote de los cultivos.

A continuación se estudiará algunos modelos de segadoras.

2.1.4.1 Segadora rotativa de discos Splendimo Classic (España). Segadora de pastos concebida por la empresa española COMECA, se trata de una segadora para tractores suspendida a los tres puntos, cuenta con un útil plegado hidráulico y un accionamiento lateral por correas. Su sistema de corte incorpora el sistema “Clip System” que permite un cambio rápido de cuchillas en caso que se desee sustituirlas o afilarlas, sus ángulos de trabajo varían desde $+90^\circ$ / -50° . Para su trabajo requiere un régimen de toma de fuerza de 540 RPM.

Es un modelo muy versátil ya que, cuenta con cinco diferente anchos de trabajo 1.65, 2.05, 2.40, 2.80, y 3.20 m, dependiendo de estos valores dimensionales puede estar provisto de 4, 5, 6, 7 u 8 discos de corte, su peso varía desde los 450Kg hasta los 670Kg.

Figura 10. Segadora Rotativa de Discos Splendimo Classic



Fuente: http://www.comeca.es/generate_product_pdf.php?id=35

2.1.4.2 Segadora de tallos largos Agrolander AR-1200CN (México). Segadora diseñada para trabajo en motocultor, posee cinco guías que forman cuatro espacios donde se introduce el forraje que se desea cortar, dichos espacios direccionan al forraje hacia cuatro discos de corte.

Los discos de corte se encuentran montados sobre una estructura sencilla que además incorpora el sistema de transmisión de potencia que cuenta con una polea de transmisión. La segadora además cuenta con un sistema de apilamiento lateral, para lo cual cuenta con una cinta provista de dientes que una vez cortado el forraje lo impulsa lateralmente para su apilamiento. (Linares, 1996)

Figura 11. Segadora de tallos largos Agrolander AR-1200CN



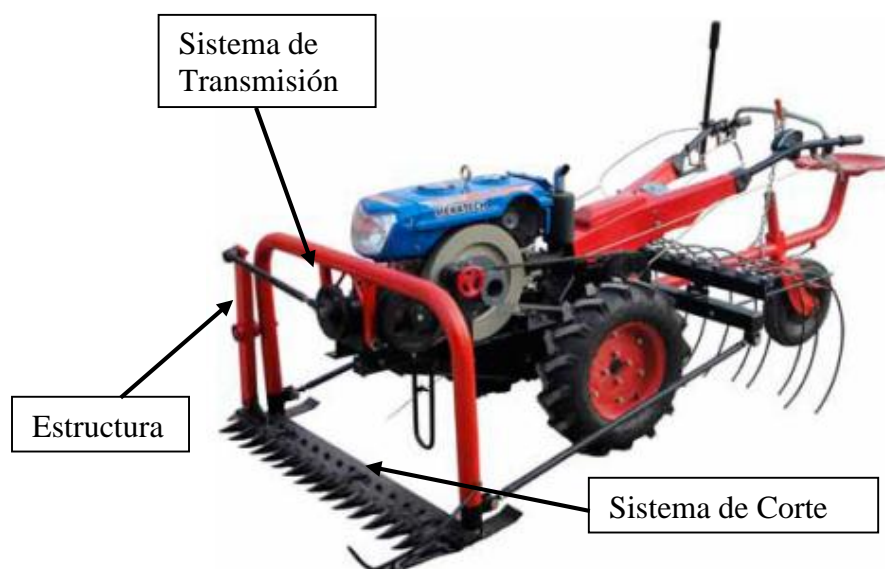
Fuente: http://www.agrolander.com/detalles_MOTOCULTOR--SEGADORA-DE-TALLOS-LARGOS,103,25,5.htm

2.1.4.3 Segadora de alfalfa Mekatech MKT-00EP06C.V1 (México). Segadora especializada para el corte de alfalfa, incorpora un sistema de corte lineal, es decir de cuchillas y dedos, este sistema se caracteriza por permitir un corte limpio, propicio para corte de alfalfa.

Cuenta con un bastidor simple, en el que se monta un reductor que aprovecha la potencia suministrada por el motocultor a través de una transmisión por polea y banda, este reductor acciona a un mecanismo biela-manivela que a su vez genera el movimiento necesario en las cuchillas para producir el corte de forrajes.

Posee un ancho de corte de 1.2/1.4 m con una velocidad de trabajo de 3/5 Km/h, sus dimensiones generales son 3300x1250x950 con una masa de 140 kg.

Figura 12. Segadora de alfalfa Mekatech



Fuente: <http://www.mekatech.tv/fichas/MKT00EP06CV1.pdf>

2.2 Marco teórico

2.2.1 Tecnología del motocultor:

Definición: Un motocultor es un vehículo agrícola de un solo eje que aprovecha la energía y potencia entregada por un motor de combustión interna, es dirigido por medio de manubrios de dirección. Su uso está relacionado con unidades de pequeña producción.

2.2.1.1 Clasificación de los motocultores. Los motocultores principalmente obedecen a la clasificación que se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los motocultores

Categoría I	Motoazadas
Categoría II	Motoazadas transformables
Categoría III	Motocultores de menos de 9 kW (12hp)
Categoría IV	Motocultores de más o igual a 9 kW (12hp)

Fuente: (CENEMA-INIFAP, 2014)

Es importante indicar que motocultores, motoazadas, a diésel y gasolina se aplican a la clasificación anterior.

2.2.1.2 Datos generales del Motocultor YTO DF-15L. Las características técnicas de este motocultor son tomadas del catálogo del fabricante, los mismos que servirán como referencia para el diseño de los implementos a diseñar.

Marca:	YTO
Tipo:	Eje sencillo de propósito dual para tracción
Modelo:	DF-15L
Dimensiones (L x A x Alt mm):	2680 x 960 x 1250
Peso (kg):	509/499
Fuerza de Tracción:	221 kg-f
Potencia de salida (kW/HP):	12/16
Torque máximo (Nm):	257
Velocidad del motor	2200 rpm
Motor	Monocilindro diesel 4 tiempos.

2.2.1.3 Asentamiento del motocultor. Antes de ponerlo en servicio es necesario asentar el motocultor para lo cual se seguirá los siguientes pasos que constan en el manual de operación, considerando también la disminución de potencia que se genera en los motores de combustión interna debido a la altura geográfica del lugar de trabajo producto de la disminución de oxígeno en zonas de mayor altura:

- 1.- Es importante realizar una revisión del apriete de todas las conexiones y tornillos del motocultor para evitar una falla del mismo
- 2.- Es necesario revisar los niveles de combustible, aceite, refrigerante
- 3.- Ajuste las tensiones de bandas de transmisión de ser necesario
- 4.- Seleccionar el correcto sistema de lastre que dependa del tipo de trabajo y accesorio.

2.2.1.4 Dispositivos de arranque. Los dispositivos de arranque son aquellos que permiten dar las primeras RPM al motor de combustión interna, estas revoluciones son necesarias para dar inicio al ciclo de cuatro tiempos. (CENEMA-INIFAP, 2014)

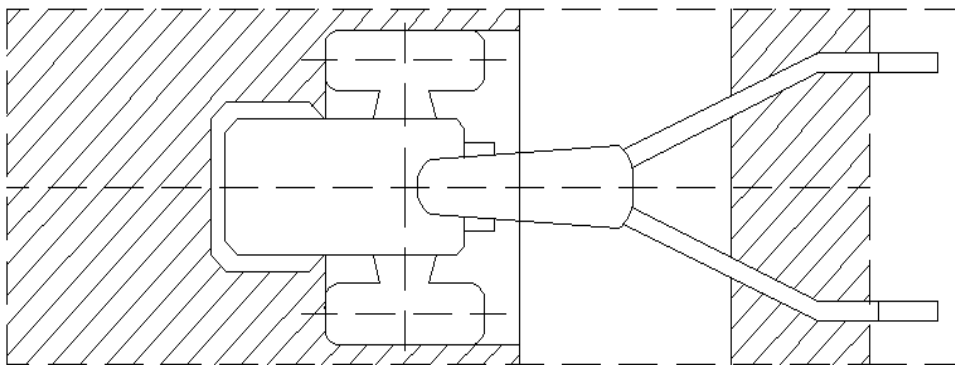
Para los casos particulares de los sistemas de arranque en un motocultor tenemos:

- A) Los motocultores que posean una potencia inferior a los 5 hp podrán utilizar sistemas de manivela o de cuerda de recuperación automática que deberán ser accionados por el usuario. Este tipo de sistemas deberán contar necesariamente con un dispositivo de seguridad, que desconecte inmediatamente la manivela cuando el motor arranque y que impida el retorno de la manivela que podría producir daños al operario tales como, fracturas en sus extremidades superiores.
- B) Los motocultores con una potencia mayor a los 5 HP deberán emplear sistemas de encendido eléctrico mediante acumuladores y motores de arranque que actúan sobre el volante del motor.

2.2.1.5 Zonas de Seguridad de arranque. El motocultor al ser un vehículo autopropulsado, es necesario considerar sus zonas de seguridad al momento de ponerlo en marcha para que no exista ningún accidente, considerando siempre si el motocultor se encuentra en terreno con pendiente, la ubicación del mismo y la dirección de trabajo.

El siguiente gráfico esquematiza las zonas de peligro.

Figura 13. Zonas de Seguridad en el arranque de motocultor



Fuente: (CENEMA-INIFAP, 2014)

2.2.2 Arado de cincel. El arado de cincel es una elemento de labranza horizontal, su estudio lo dividiremos en dos partes, la primera aborda su integración con el suelo agrícola es decir se estudiará parámetros tales como: ángulos de ataque, formas y posiciones adecuadas del arado, y una segunda parte donde se especificará sus partes y algunos parámetros de diseño como potencias y velocidades de avance del mismo.

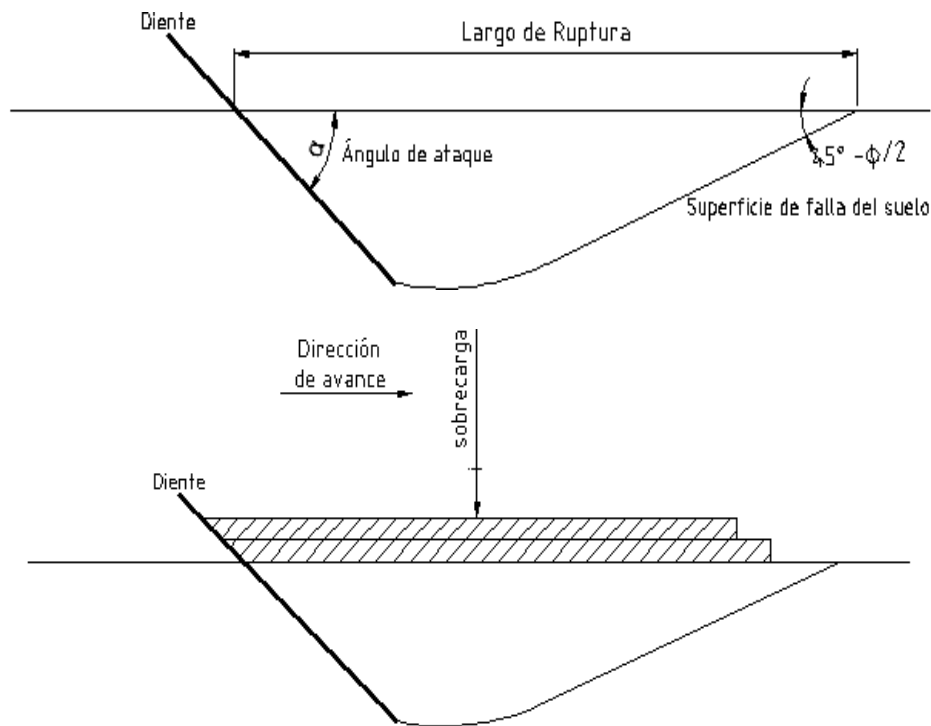
La teoría clásica de mecánica de suelos en lo referente a la labranza presenta un caso especial y difícil de solución debido a que trata solamente con el principio de falla, mientras que en la labranza el interés reside en los movimientos sustanciales del suelo y en los cambios efectuados en su estructura. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

2.2.2.2 Modelo de falla de suelo con dientes anchos.

Dientes rectos inclinados hacia adelante. El modelo de falla que genera los accesorios que se ajustan a este tipo de diente se encuentra esquematizado en la Figura 14 cuya forma tiene un ancho mucho mayor que su profundidad.

Todos los dientes o actuadores que posean dientes geoméricamente similares a este tipo, pero considerando que únicos su diferencia radica en el volumen de suelo removido. En este grafico se observa una superficie de falla, en parte curva y en parte recta, rompiendo la superficie del suelo con un ángulo de $45^\circ - \phi/2$, en donde ϕ es el ángulo de fricción interna del suelo; durante el avance el suelo se amontona sucesivamente al frente del diente, sobrecargando la superficie de falla suelo/suelo, lo que significa que la fuerza de resistencia aumenta durante el avance.

Figura 14. Modelo de falla de suelo producido por un diente recto y ancho

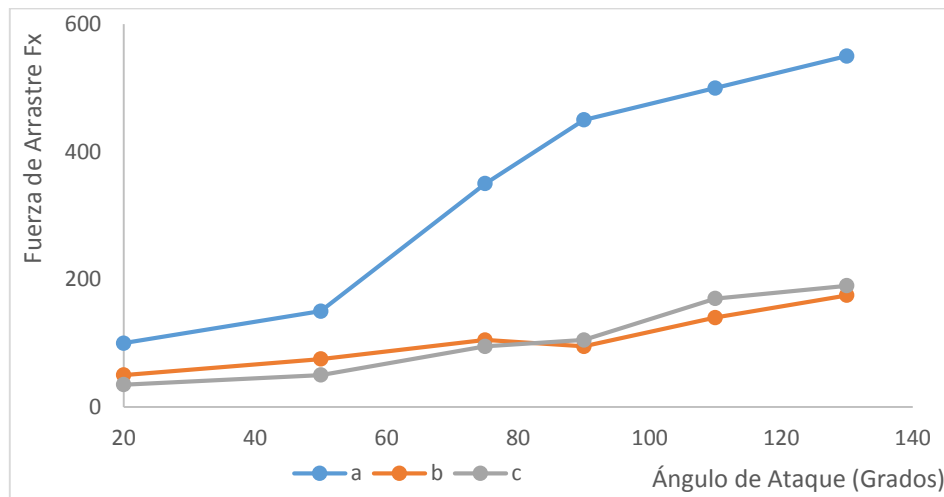


Fuente: (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

2.2.2.3 Falla de suelo con dientes angostos. Básicamente se forma un prisma de suelo frente al diente y el suelo se altera en forma de una creciente. Se observa una alteración máxima en cuanto al volumen de suelo para los ángulos de ataque pequeños, lo que también ofreció un valor menor de la fuerza de resistencia, como se indica en la Fig. 12. La misma figura demuestra que con un ángulo de ataque hasta de unos 45° , el componente vertical de la resistencia del suelo apoya la penetración mientras que con los ángulos mayores, existe la tendencia a que salga el diente del suelo.

Figura. 15. Relación del ángulo de ataque con la fuerza de arrastre

a) Arena con 3.8% de humedad b) franco-arenoso con 9.4 % de humedad c) arcilla con humedad de 18.2 % de humedad



Fuente: (Ashburner, y otros, 1984)

Operaciones básicas en la labranza del suelo. La consistencia del suelo es el primer aspecto que se debe tomar en cuenta al momento de hablar de labranza, siendo esta característica física dependiente de muchos factores, pero principalmente la humedad que cumple un papel fundamental en las características del suelo como la resistencia, la forma y tamaño de los terrones y principalmente el deslizamiento suelo/interfaz.

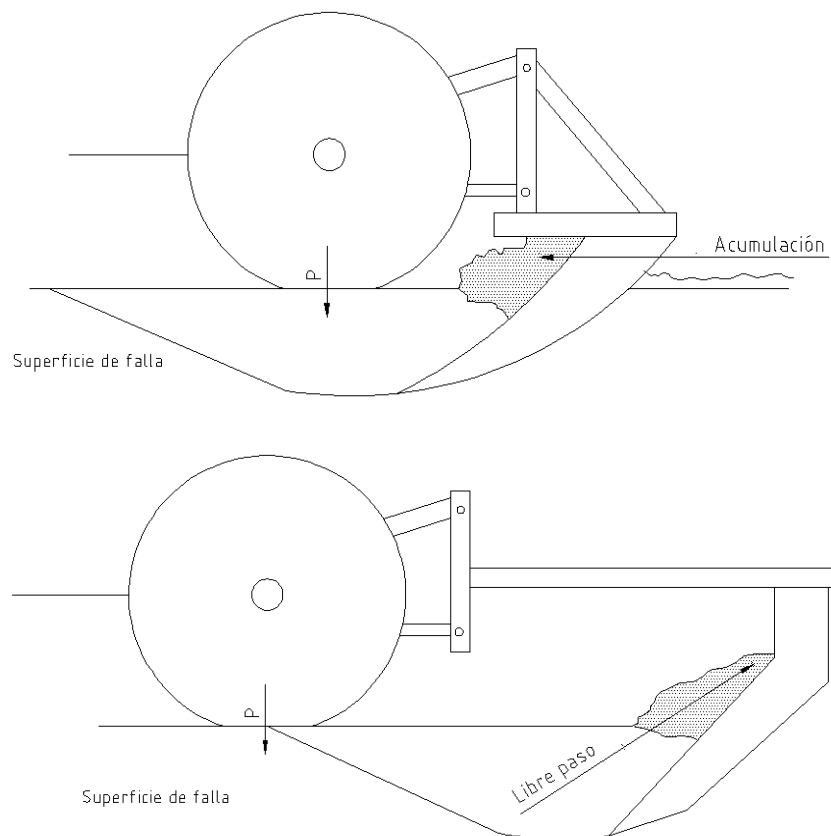
Para nuestro caso particular abordaremos el estudio del estallamiento, fenómeno que principalmente se genera con subsoladores con alas o dientes con ángulo de 45° que se ajusta a nuestro caso de arado cincel.

Estallamiento. Según Ashburner el estallamiento significa producir aberturas o grietas en el suelo aumentando su porosidad con el movimiento hacia arriba, técnicamente se busca

disminuir la densidad del suelo con un mínimo de esfuerzo, en general esto se logra trabajando el suelo cerca del límite de contracción o sobre el límite superior de plasticidad, cuando la resistencia de la masa del suelo al esfuerzo de corte y al deslizamiento presenta valores mínimos

Herramientas para provocar estallamiento. Al momento del diseño de herramientas para producir estallamiento se debe considerar que al efectuar la labor de estallamiento a profundidad también se puede destruir los estratos impermeables, como efecto de la compactación y en la superficie se puede dejar las malezas sueltas y en algunos casos completamente desenterradas las mismas que mueren y producen una capa de materia orgánica que enriquece el suelo, razón por la cual el estallamiento puede servir como base principal en la preparación de suelos secos.

Figura 16. Efecto del diseño de la herramienta sobre la fuerza de arrastre



Fuente: (Ashburner, y otros, 1984)

En el gráfico anterior se pueden visualizar dos diferente situaciones, en el primer caso existe una acumulación de suelo que aumenta el esfuerzo y la resistencia y adicionalmente

dificulta el fenómeno de estallamiento, en el segundo Figura 13.b existe un correcto diseño de la reja que permite el libre flujo de la tierra.

Otro parámetro importante que se concluye con el gráfico anterior es la posición de la rueda de la maquinaria motriz, es decir del tractor o motocultor, la misma que para evitar compactaciones y daños en el efecto de estallamiento deben estar fuera de la zona de falla. (Ashburner, y otros, 1984).

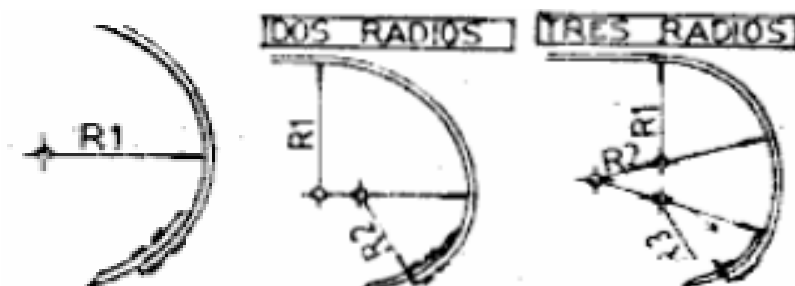
2.2.2.4 Elementos del arado cincel. Como indicamos al inicio del estudio del arado cincel, se aborda un segundo estudio que se constituye en el análisis y descripción de los principales elementos de un arado cincel, es así que los principales elementos son:

Brazos de arado. Dos son los tipos de arados de cincel existentes, los que poseen brazos flexibles y los de brazos rígidos, a continuación se detallará cada uno de ellos.

Brazos flexibles. Poseen forma de arcos circulares, existen brazos que poseen uno, dos y hasta tres radios de giro, en algunos casos estos brazos se encuentran montados mediante la unión de un pivote que en ocasiones puede ser diseñado como fusible en caso de que se produzca una sobre carga.

La principal ventaja de estos arados, se constituye en el hecho que mediante su trabajo al ser flexibles y debido a la resistencia del suelo se produce una vibración en los brazos, fenómeno que ayuda a efectuar una excelente descompactación del suelo. Para arados que incorporan brazos con un solo radio, se aconseja que este radio posea un valor de 20 a 25% superior la a profundidad máxima de trabajo, con ángulos de ataque comprendidos entre 20 a 25° para evitar efectos de compactación.

Figura 17. Forma de los brazos de cincel flexible.



Fuente: <http://mecanizacionagricolafca.files.wordpress.com/2012/06/apunte-arado-cincel1.pdf>

Brazos rígidos. Combina dos tramos rectilíneos que terminan en un diente robusto fuertemente fijado al brazo, poseen un excelente desempeño en terrenos pesados y compactados, trabaja con ángulos de ataque de entre 20 a 45°.

Rejas. Los arados pueden emplear tres tipos de rejas o de elementos de corte, que dependerá del tipo de suelo y el tipo de trabajo que se desee generar, es así que tenemos:

a) *Rejas de contracción.* Se utiliza en arados de tipo flexible posee una forma muy sencilla que se asemeja a los cultivadores clásicos, tiene una anchura que varía de 5 a 8 cm debido a que en estas dimensiones se conjuga el efecto de entremezclado que es positivo y el esfuerzo de tracción que podría producir rotura en el elemento.

Son aptos para trabajar a profundidades de 20 a 25 cm como máximo.

Figura 18. Reja de contracción



Fuente: <http://renyson.com.mx/herramientasAgricolas/Cincel-cultivadora.aspx>

b) *Reja con alas.* Perfecta para trabajo en terrenos húmedos. La forma de la herramienta permite el corte de raíces de malas hierbas, las mismas que mueren y producen una capa orgánica que resulta favorable y enriquece el suelo agrícola. Su anchura oscila entre los 12 a 18 cm (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

Figura 19. Reja con alas



Fuente: <http://oncativosa.com.ar/categoria-accesorios/#all>

2.2.2.5 Determinación de la fuerza en el arado. La principal carga que debe soportar el arado es la carga resistiva que presenta el suelo, la misma que dependerá principalmente de las características del suelo, y deberá ser tomada en la profundidad máxima de trabajo.

Para calcular la fuerza generada en el arado, tenemos la siguiente ecuación que cuantifica la fuerza que se necesita vencer, que está en base a los diferentes tipos de suelos:

Fuera Estática

$$F = A \times C \quad (1)$$

Dónde:

F = Fuerza generada por el suelo

A = Área de corte

C = Rango de Requerimiento

Tabla 2. Requerimiento de fuerzas, energía y potencia de las herramientas agrícolas

Máquina (Nombre en español)	Rango Típico de Requerimiento
Labranza: Arado	2.1-4.1-3.4-6.2 5.5-9.7 KN/cm ²
Surcadora	1.8 – 3.6 KN por cuerpo
Disco Cultivador	2.6 – 5.8 KN/m
Rastra de discos	0.7 – 1.5 KN/m
Tándem	1.5 – 2.9 KN/m

Fuente: (Ashburner, y otros, 1984)

2.2.3 Remolque

Los remolques o también llamados tráileres son implementos de carga, que carecen de motor o algún dispositivo que le permita movimiento propio, por esta razón es necesario que los remolques cuenten con un vehículo de arrastre. En el caso agrícola pueden ser movidos por un tractor o en nuestro caso particular por el motocultor.

Nuestro principal objetivo es el diseño de un remolque que aproveche la potencia de arrastre del motocultor, pero adicionalmente se diseñará un acople que permita su conexión con vehículos de uso común.

A continuación se detalla los principales sistemas que conforman un remolque:

2.2.3.1 Estructura. Es el sistema encargado de soportar y distribuir las cargas producidas en el remolque, sobre esta estructura se encontrarán montados los demás elementos. Generalmente la estructura está formado de elementos estructurales de gran resistencia, y básicamente la estructura determinará las dimensiones finales del remolque.

2.2.3.2 Sistema de suspensión. El sistema de suspensión cumple la función de absorber las vibraciones y los movimientos bruscos producidos en el remolque.

Muchos son los tipos y elementos que emplean los sistemas de suspensión, que mediante la utilización de uno u otro elemento se conseguirán diferentes resultados en algunos casos el amortiguamiento será mayor o menor.

El principio de funcionamiento de los sistemas de suspensión es la propiedad que poseen todos los materiales, en especial los materiales metálicos y poliméricos, dicha propiedad es la elasticidad que permite que los materiales se deformen hasta cierto límite y recuperen su posición original.

Los principales elementos de toda suspensión son:

- Muelles
- Amortiguadores
- Neumáticos

Muelles. Los muelles generalmente se encuentran contruidos en acero de alta resistencia y ductilidad, que permiten la suspensión generalmente mediante su deformación lineal o circular. Los muelles generan oscilaciones debido a que están en continua deformación y recuperación, dicha oscilación generalmente es absorbida por los amortiguadores.

Existen varios tipos de muelles entre los que tenemos:

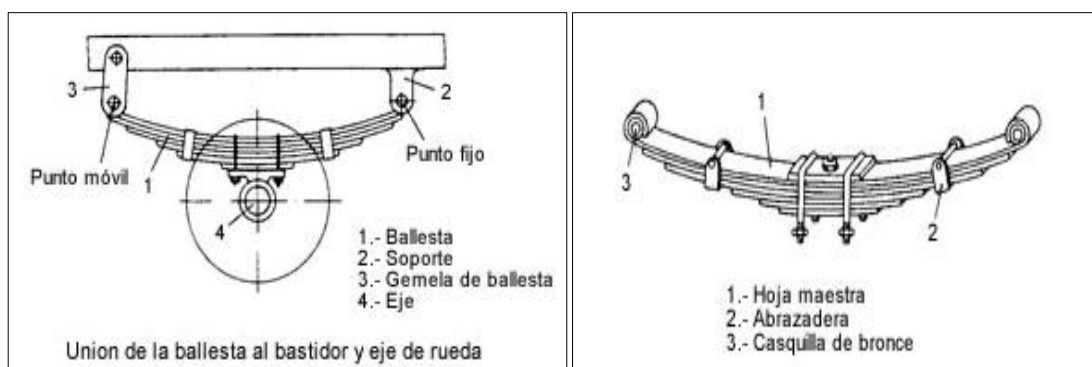
- Ballestas
- Muelles Helicoidales

Ballestas: Conocidas como hojas de resortes, o paquete de resortes, son elementos de suspensión compuestas por una serie de láminas de acero, que conjugan diversas longitudes y se encuentran aseguradas por abrazaderas

Posee dos extremos de forma circular, en los que se encuentran dos bujes de fricción que sirven para ser articulados a la estructura principal, en uno de sus extremos se articula y se fija al chasis, principalmente imposibilitando el desplazamiento lineal mientras en el extremo opuesto se encuentra articulado en un mecanismo que aparte del movimiento circular permite un movimiento lineal controlado.

Generalmente las ballestas son empleadas para la suspensión de vehículos que soportan grandes cargas tales como camionetas y remolques

Figura 20. Ballesta o paquete de resortes



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>

2.2.3.3 Teoría de ballesta. Las ballestas u hojas de resorte son elementos que para su diseño son tomados en cuenta como si fueran una barra en voladizo, es decir que se encuentra empotrada en uno de sus extremos y el otro extremo se encuentra libre.

Para su diseño es necesario tener las características principales del paquete de resorte, tales como su longitud total entre centros, es decir el largo total de la ballesta, el número de hojas del cual está compuesto, el espesor y el ancho de cada una de las hojas. Adicionalmente se necesita saber el límite de fluencia (S_y) del material del cual se encuentra hecha las hojas de resortes, como es de suponerse el material es de gran resistencia y ductilidad, en la mayoría de los casos es utilizado el acero 5160 que se constituye en un acero de carbono medio ideal para este trabajo.

La ecuación para el diseño de ballestas será:

$$P = n \left(\frac{bh^2}{6} \right) \frac{\sigma_{admisible}}{L} \quad (2)$$

Dónde:

b =ancho de la hoja de resorte

h = espesor de la hoja de resorte

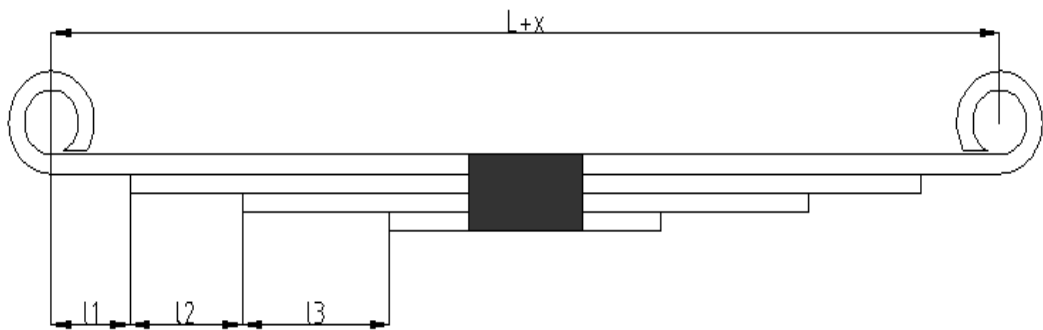
n = número de hojas

L =largo (longitud entre ejes)

$\sigma_{admisible}$ = esfuerzo máximo admisible

Cálculo de la flecha máxima. Este cálculo es necesario, debido a que será el máximo valor de deformación que soportará el paquete de resortes, como dato principal de cálculo será necesario la determinación de la constante elástica del resorte. (Khurmi, y otros, 2005)

Figura 21. Dimensiones que se consideran en el análisis de un paquete de resortes



Fuente: (Cascajosa, 2005)

La ecuación para el cálculo de la flecha máxima será considerada con la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{PL^3K}{4Enae^3} \quad (3)$$

Dónde:

P =peso estático que ha de soportar el remolque

ϕ = flecha bajo carga

K =Constante elásticas

E =Módulo de elasticidad

n = Número de hojas

a = Ancho de la hoja

e =Espesor de las hojas

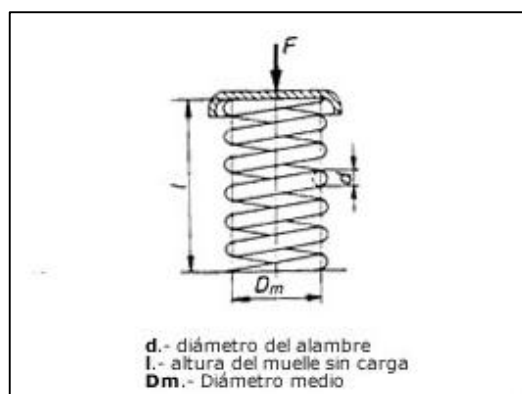
Tabla 3. Valores típicos de constantes elásticas de ballestas

N. Total de hojas	Hojas de refuerzo	K	K'
1	0	1	1
2	0	1,12	1,12
2	1	1	1
3	0	1,2	1,2
3	1	1,06	1,15
4	0	1,25	1,26
4	1	1,12	1,22
5	0	1,29	1,29
5	1	1,17	1,27
6	0	1,31	1,32
6	1	1,2	1,3
7	0	1,34	1,34
7	1	1,24	1,33
8	0	1,35	1,36
8	1	1,26	1,35
8	2	1,19	1,33

Fuente: (Cascajosa, 2005)

Muelles helicoidales: Son los comúnmente conocidos como resortes, poseen diámetros y espesores variables, su capacidad o flexibilidad dependen del número de espiras del cual se encuentre provisto el resorte. Principalmente reciben esfuerzos de compresión y debido a su forma los convierten en esfuerzos torsionales.

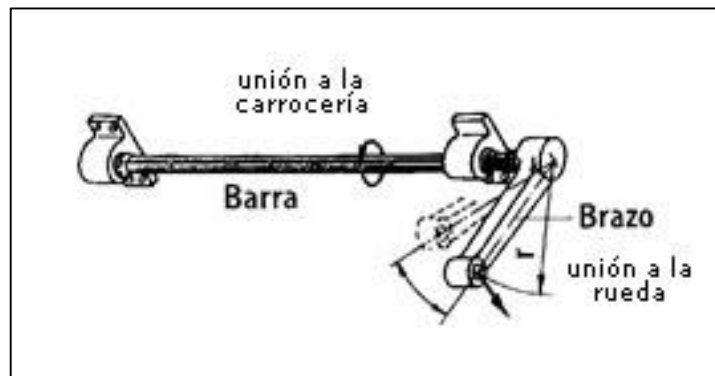
Figura 22. Muelle helicoidal



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>

Barra de Torsión. Las barras de torsión aprovechan la resistencia que presentan las barras de acero a cargas torsionales, las mismas que luego de recibir una carga, debido a su propiedad elástica la devuelven a su posición original.

Figura 23. Barra de torsión



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>

2.2.3.4 *Neumáticos.* Los neumáticos son elementos de la rodadura de un vehículo que a más de favorecer la rotación al ser contruidos de materiales poliméricos, funcionan muy bien como elementos absorbentes de golpeteos e irregularidades, constituyéndose en el primer sistema de suspensión. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

2.2.3.5 *Sistemas de rodaduras.* Los sistemas de rodaduras cumplen con la principal función de permitir la rotación las ruedas, básicamente se encuentran contruidos por mecanismos que cuentan con dos extremos en los que se alojan los ejes, uno de los extremo es fijo que permite ser articulado o fijado al chasis y el segundo cuenta con una punta eje que está libre y permite la rotación, en este extremo es donde se monta el neumático.

Figura 24. Sistema de Rodadura



Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-452222003-balero-masa-trasera-de-mazda-cx7-modelo-2007-2012-_JM

2.2.3.6 Naturaleza y clasificación de cargas:

Tipos de cargas:

a) *Según su carácter de aplicación:*

- *Cargas estáticas:* Se denominan cargas estáticas a todas aquellas que poseen una aplicación permanente; es decir se pueden considerar constantes en el tiempo, un ejemplo claro de este tipo de carga es el peso mismo del equipo (carga muerta, C_m).
- *Cargas dinámicas:* Cargas de tipo variable pertenecen a este grupo, es decir que pueden ser intermitente con el tiempo en su valor de aplicación, dichas cargas dinámicas producen efectos negativos en el equipo a diseñar y reducen considerablemente la vida útil, es por este motivo que la presencia de cargas dinámicas obliga a un estudio de fatiga en el diseño.
- *Según ubicación.* Dos son los tipos de cargas que pueden producirse en la estructura, puntuales y distribuidas
- *Puntuales:* Las cargas puntuales son aquellas que se aplican en un solo punto o en un área de tamaño reducido.
- *Distribuidas:* A diferencia de las anteriores las cargas distribuidas se aplican en áreas de mayor dimensión, siendo el tamaño del área un factor que determinará el valor correspondiente y el efecto que genera sobre el elemento de máquina. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

b) *Según su naturaleza*

- *Carga de diseño (C_d).* Es el principal parámetro de diseño, que se genera como producto del trabajo o funcionamiento mismo del elemento de máquina, la carga de diseño es de diferente carácter pudiendo pertenecer a cualquier tipo de fuerza antes detallada, para su cálculo empleamos la ecuación en la cual se relacionan la carga de trabajo y la de diseño.

(4)

$$C_d = P - C_m$$

Dónde:

C_d = Carga de diseño

P = Carga

C_m = Carga muerta (Peso)

c) *Otras fuerzas*

- *Resistencia al rodado.*- Las fuerzas traccionales de las ruedas del motocultor, generan una deformación en el suelo, dicha deformación genera fuerzas que impiden el libre movimiento de la rueda produciendo una resistencia al rodado, esta resistencia puede ser medida mediante la siguiente ecuación:

$$\psi = \frac{R}{Cd} \quad (5)$$

Dónde:

ψ = Coeficiente de resistencia al rodado

R = Resistencia al Rodado

Cd = Carga

Adicionalmente para determinar el valor del coeficiente de resistencia contamos con la ecuación:

$$\psi = \frac{1.2}{C_n} + 0.04 \quad (6)$$

Dónde:

C_n = Coeficiente debido a la geometría de la rueda

En la siguiente tabla se presentan valores típicos para diferentes tipos de suelo C_n

Tabla 4. Valores típicos debido a la geometría de la rueda

50	Suelos duros
30	Suelos firmes
20	Suelos labrado
15	Suelos blandos y arenosos

Fuente: (Ashburner, y otros, 1984)

Fuerza de Tiro (Ft). Es la mínima fuerza necesaria que se necesita para dar movimiento a los diferentes accesorios agrícolas tales como el remolque y el arado.

Así tenemos la ecuación de la fuerza de tiro que depende de la carga y de la resistencia al rodado:

$$Ft = Cm \times \sin \beta + R \quad (7)$$

Dónde:

Ft = Fuerza de tiro

Cm = Carga muerta

β = Ángulo de inclinación del accesorio agrícola con respecto al suelo

R = Resistencia al rodado

2.2.4 Ruedas de pendiente. Las ruedas de pendiente, tienen como finalidad aumentar el torque en las ruedas motoras, mediante el aumento de área y la introducción de elementos de agarre en el suelo. Para este estudio es necesario determinar los centros de gravedad que nos permita calcular la pendiente máxima a la cual podrá trabajar dichas ruedas.

Al igual que en el caso anterior, primero se detallará las partes principales del accesorio y luego se detallaran las ecuaciones que posibilitan el cálculo.

Básicamente las ruedas de pendiente contarán con dos partes constitutivas, la estructura que soportará las cargas de trabajo y especialmente el peso del motocultor y los elementos de agarre que aprovechan de mejor forma el torque.

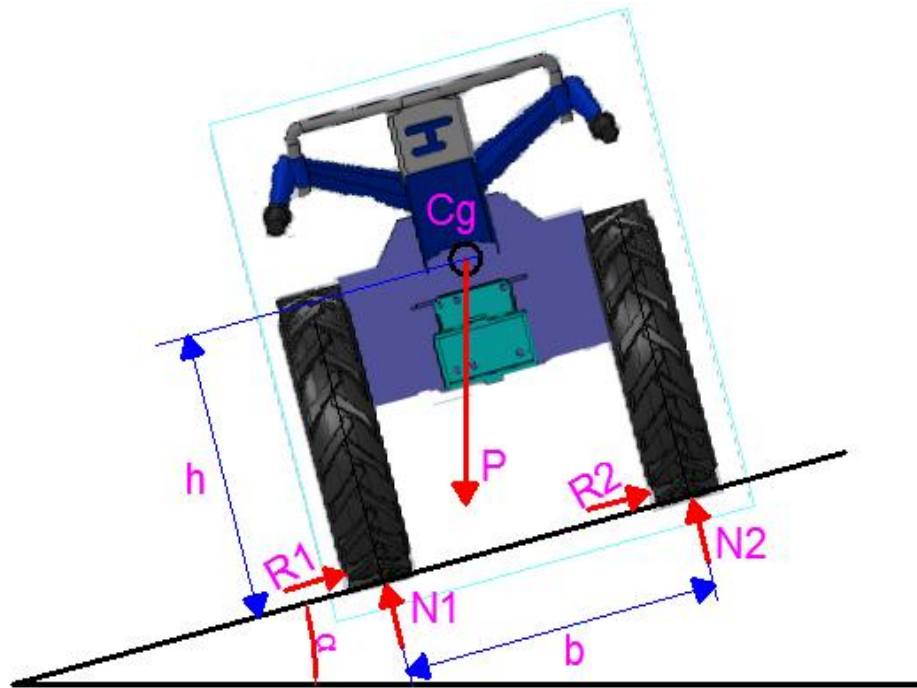
2.2.4.1 Estructura. Para la construcción de ruedas se necesita una estructura que puede tener forma de jaula circular, que permita acoplarse de mejor manera a la forma del neumático y aproveche al máximo el torque de las ruedas.

2.2.4.2 Elementos de agarre. Se constituyen en elementos que poseen forma cónica o piramidal, dicha forma les permite introducirse en el suelo y aprovechar el torque de las ruedas, existen formas distintas que incluyen desde pupos de materiales metálicos o poliméricos hasta superficies dentadas.

2.2.4.3 Condiciones de estabilidad. Las ruedas de pendiente deberán garantizar el aumento de la capacidad de adaptación del motocultor de trabajo en pendiente, de esta condición surge la necesidad de determinar el comportamiento de vuelco o también conocidas como condiciones de estabilidad, que nos ayudará a determinar cuál será el valor máximo de pendiente que trabajará el motocultor.

En el siguiente gráfico se presenta un diagrama de cuerpo libre del motocultor cuando trabaje en pendiente, que nos ayudará a entender de mejor manera el comportamiento de las fuerzas.

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre de motocultor



Fuente: Autores

Las fuerzas presentes en el diagrama de cuerpo libre son:

Peso (P): El peso es la fuerza vertical que se encuentra aplicada en el centro de gravedad (Cg), y está dada por la ecuación

$$P = m \times g \quad (8)$$

Dónde:

P = Peso (N)

m = masa (kg)

g = gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Fuerza de rozamiento(R): Fuerza que se genera por la interacción entre el neumático y el suelo, directamente depende de la reacción normal que ejerce el suelo en respecto al peso

del motocultor y depende también de rugosidad del terreno definida como el coeficiente de resistencia. Su ecuación es:

$$R = \mu \times N \quad (9)$$

Dónde:

R = Fuerza de rozamiento (N)

μ = Coeficiente de rozamiento

N= Fuerza Normal (Reacción al peso) (N)

2.2.4.4 Análisis de deslizamiento: Cuando el motocultor se encuentre trabajando en pendiente, el primer efecto que podría causar problemas, es el deslizamiento que se podría producir entre las ruedas y el suelo producto del propio peso del motocultor.

Para este análisis utilizaremos la descomposición de fuerzas de la Figura 22

$$\sum F_x = 0$$

$$R_1 + R_2 = P \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{(R_1 + R_2)}{P}$$

Sabiendo que: $R = \mu N$ tenemos:

$$\sin \alpha = \frac{\mu (N_1 + N_2)}{P}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N_1 + N_2 = P \cos \alpha$$

Reemplazando el valor de N tenemos:

$$\sin \alpha = \frac{2\mu(P \cos \alpha)}{2P}$$

Simplificando y sabiendo que $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$

Finalmente:

$$\tan \alpha = \mu \quad (10)$$

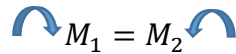
Dónde:

α = ángulo máximo de inclinación antes de que se produzca deslizamiento

μ = Coeficiente de rozamiento

2.2.4.5 Hipótesis de vuelco. El segundo inconveniente, aparte del deslizamiento es el volcamiento del motocultor, este fenómeno se produce debido a los momentos que se generan en el motocultor producido por la pendiente o inclinación del suelo de trabajo. Se generarán dos tipos de momento, los momentos generados por las fuerzas desestabilizadoras y el momento de las fuerzas estabilizadoras, el volcamiento se generará cuando los momentos desestabilizadores venzan al momento estabilizador.

A continuación se planteará el análisis de momentos en base la Figura 22


$$M_1 = M_2$$

$$N_1 \left(\frac{b}{2} \right) = h \cdot R_1 + h \cdot R_2 + N_2 \left(\frac{b}{2} \right)$$

$$N_1 \left(\frac{b}{2} \right) = h \cdot (R_1 + R_2) + N_2 \left(\frac{b}{2} \right)$$

$$\left(\frac{b}{2} \right) (N_1 - N_2) = h \cdot (R_1 + R_2)$$

Reemplazando $R = \mu N$

$$\left(\frac{b}{2} \right) (N_1 - N_2) = h \cdot \mu \cdot (N_1 + N_2) \quad (11)$$

Mediante la ecuación anterior, podremos determinar el momento en que se va a producir volcamiento, considerando que el mismo se producirá cuando una de las ruedas pierda contacto con el suelo, razón por la cual una de las reacciones se anulará, para nuestro caso consideraremos que la reacción $N_2 = 0$, bajo esta consideración nuestra ecuación queda modificada:

$$\mu = \frac{b}{2h} \quad (12)$$

Es necesario indicar que esta relación muestra el momento exacto en el cual se iniciará el volcamiento, convirtiéndose en el límite o coeficiente mínimo de rozamiento, por lo cual el coeficiente de rozamiento deberá ser mayor a este valor, con lo cual se asegurará la estabilidad del motocultor con su respectivo aforo aprovechando al máximo las capacidades de trabajo del equipo en pendiente. (Khurmi, y otros, 2005)

2.2.5 Segadora de forrajes. Las segadoras son máquinas que realizan fundamentalmente el corte del forraje de pie. Por lo tanto, forman parte de todos los procesos de recolección pudiendo ser: consumo en verde y ensilado.

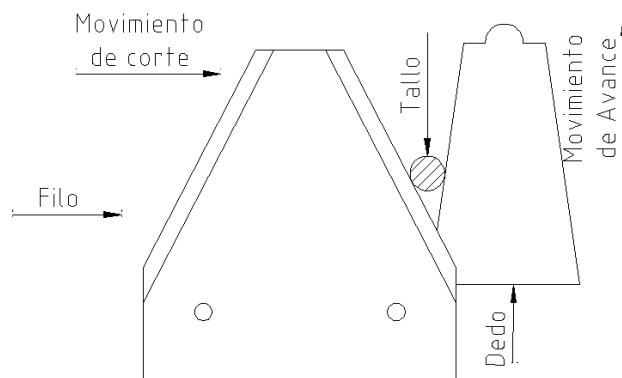
Según el principio del corte empleado pueden hacer un cierto acondicionamiento del forraje simultáneo al corte, sin implementar elementos acondicionadores. Suelen estar equipados de dispositivos auxiliares para realizar hileras de tamaño regulable. Es muy frecuente que se asocie con acondicionadores para convertirse en segadoras-acondicionadoras. (Ortiz Cañavate, y otros, 1989)

2.2.5.1 Principios de corte. El corte es la operación mecánica en la cual un útil afilado penetra en el material que va a ser cortado según una dirección determinada y lo separa debido a la aplicación de fuerzas de corte elevadas.

Para el corte de materiales flexibles, como son los tallos del forraje, se emplean dos sistemas: corte con dos elementos opuestos y corte con un solo elemento: el primero de ellos es el de cuchillas y contracuchilla y el segundo es el de cuchilla a alta velocidad con corte por impacto.

Corte por cuchilla y contracuchilla. La acción es similar a la de una tijera, en la que dos elementos con bordes cortantes se dirigen uno contra otro y seleccionan el material que se ha introducida en ellos. Uno de los elementos es una cuchilla metálica con forma de trapecio regular, dotado de filos en los lados (Fig. 26). El otro elemento puede ser una contra cuchilla sin filo, llamada dedo, fija o móvil, o bien otra cuchilla móvil. (Linares, 1996)

Figura 26. Esquema de cuchilla y contracuchilla



Fuente: Autores

Corte por impacto. El corte con un solo elemento cortante se efectúa sin contracuchilla. En este caso, la reacción que se opone a la fuerza de corte aplicada tiene que proporcionar la propia planta, a través de la inercia del tallo y la resistencia de éste a deformarse.

Una vez que la cuchilla impacta contra el tallo, produce una incisión y se introduce en la planta. El tallo se deforma (Fig. 27), provocando una reacción en la raíces que puede llegar a arrancar la planta. (Linares, 1996)

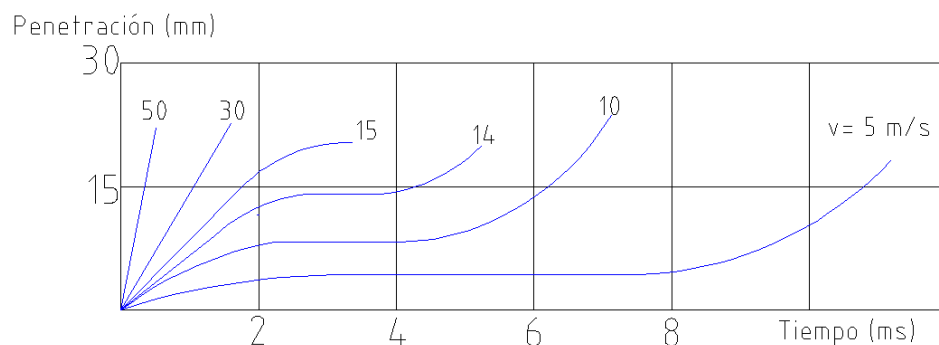
Figura 27. Diagrama de corte por impacto



Fuente: Autores

Si la velocidad de la cuchilla es baja, el corte tiene lugar en dos etapas: primero penetra la cuchilla sin seleccionar el tallo y después se supera la relación radicular y se completa el corte. Si la velocidad es elevada, el corte es posible sólo con la propia inercia del tallo, sin casi provocar deformaciones en el mismo (Figura 28).

Figura 28. Relación entre la velocidad de corte, el tiempo y la penetración

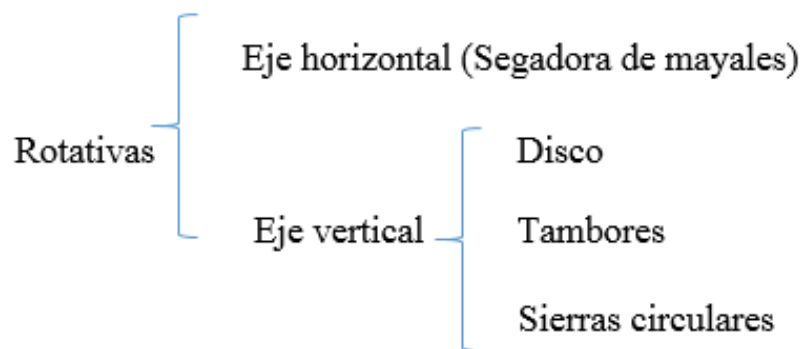


Fuente: (Linares, 1996)

Las segadoras que utilizan este sistema llevan una serie de cuchillas giratoria con respecto a un eje horizontal o vertical. Las máquinas de corte por impacto reciben el nombre de segadoras rotativas.

Clasificación. Basándose en los dos principios de corte y en la forma de aplícalo, se puede clasificar las segadoras como sigue:

Figura 29. Clasificación de las segadoras rotativas



Fuente: Autores

2.2.5.2 Teoría para el diseño de segadora

Velocidad crítica de corte: La velocidad crítica es el valor de velocidad más apropiado que permitirá un corte adecuado de cada forraje, varía de 15 a 30 m/s. Ortiz Cavate proporciona la siguiente ecuación, la cual depende de la fuerza de corte máximo y la masa efectiva del tallo

$$v_c = K * \sqrt{\frac{D * F_{Cmax}}{m_{ef}}} \quad (13)$$

Dónde:

v_c = Velocidad Crítica (m/s)

K = Constante que asume el valor de 1 cuando la fuerza de corte crece linealmente desde 0, en cambio si se mantiene constante durante todo el proceso, la constante toma el valor de 1,41

D = Diámetro del tallo (mm)

F_{Cmax} = Fuerza de corte máxima (N)

m_{ef} = masa efectiva del tallo (kg)

Al hablar de corte todas las magnitudes deben estar en función del tallo del forraje que se desea cortar, es así que tenemos:

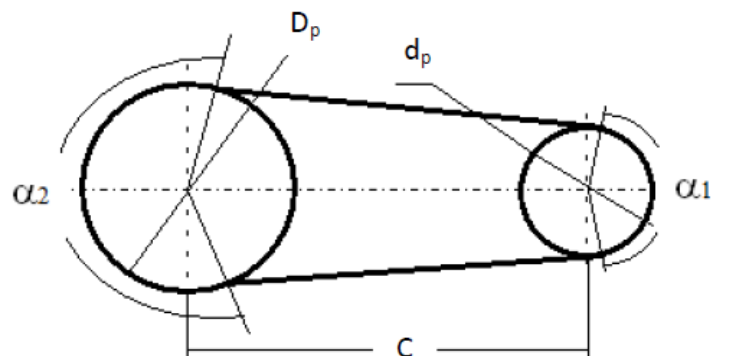
$$F_{Cmax} = 19.6 * D \text{ (N)} \quad (14)$$

$$v_C = 62 - 1.2 * D \text{ (m/s)} \quad (15)$$

Selección de correas. Para la selección de los elementos de transmisión se ha tomado el procedimiento descrito en notas de clase de diseño mecánico 2 (FIM-2013)

La transmisión de potencia se la realizará mediante correas de tipo trapezoidales

Figura 30. Diagrama de transmisión por poleas y correas



Fuente: http://www.tecnologia.maestrojuandeavila.es/temas/mec/esquema_poleas-correa.JPG

Determinación de la relación de transmisión. El primer paso es determinar la relación de transmisión que estará en base a la velocidad disponible y la velocidad requerida.

$$i = \frac{D_p}{d_p} \quad (16)$$

Dónde:

D_p = diámetro primitivo de la polea lenta (mm)

d_p = diámetro primitivo de la polea rápida (mm)

También tenemos la ecuación:

$$i = \frac{n_2}{n_1} \quad (17)$$

Dónde:

n_1 = Velocidad angular de la polea lenta (rad/s)

n_2 = Velocidad angular de la polea rápido (rad/s)

Determinación de la potencia de diseño

Uno de los parámetros fundamentales en la selección de correas es la potencia de diseño la misma que depende de la potencia a transmitir y de la selección de un factor de servicio que puede estar en base a las horas de trabajo o al tipo de trabajo a realizar.

$$P_D = P * C_1 \quad (18)$$

Dónde:

P_D = Potencia de diseño (HP) (W)

P = Potencia a transmitir (HP) (W)

C_1 = Factor de diseño

En el siguiente cuadro se especifica los posibles valores para el factor de seguridad.

Tabla 5. Factores de seguridad

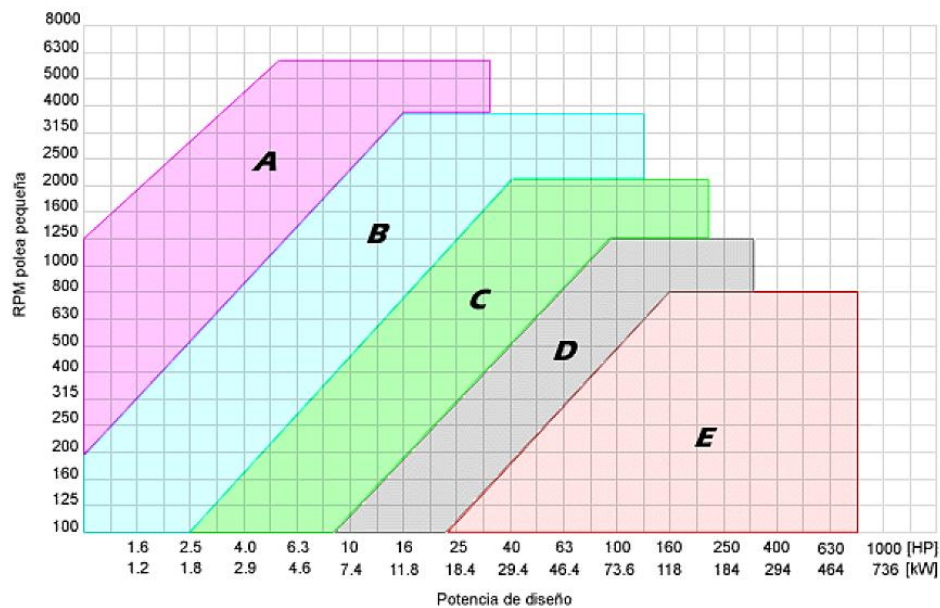
Máquinas motrices	Motores eléctricos cd = 2 cn Motores térmicos multicilindros > 600 rpm			Motores eléctricos c maxi > 2 cn Monocilindro < 600 rpm		
	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d	< 6 h/d	6 a 16 h/d	16 a 24 h/d
<i>Cargas uniformes ligeras:</i> Agitadores para líquidos, bombas y compresores centrífugos-ventiladores hasta 7,5 Kw Pequeños transportadores	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<i>Cargas uniformes medias:</i> Transportadores de cinta (arena, grano) Ventiladores superiores 7,5 Kw Generadores-alternadores, máquinas herramientas Maquinaria artes gráficas, prensas, cizallas, lavadoras, bombas rotativas.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<i>Cargas irregulares con sobrecargas:</i> Maquinaria para ladrillos y cerámica Elevadores con canchales. Compresores y bombas de pistones. Maquinaria papel. Pulverizadores. Maquinaria textil.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<i>Cargas irregulares y sobrecargas importantes:</i> Molinos, machacadoras, laminadoras, calandras mezcladoras. Gruas, dragas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Cargas muy irregulares y grandes sobrecargas.	2	2	2	2	2	2

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut121/tab11tut121.jpg>

Selección de la correa más apropiada

Para determinar el tipo de correa más apropiado, se necesita la potencia de diseño y la velocidad de la polea más rápida, luego simplemente nos valemos del siguiente gráfico.

Figura 31. Gráfico de selección del perfil de correa



Fuente: Catálogo Roflex

Determinación de diámetros primitivos:

En base al tipo de correa, utilizamos las dimensiones sugeridas en el siguiente cuadro, donde nos presentan valores mínimos para los diámetros primitivos.

Figura 32. Gráfico de selección del perfil de la correa

Sección	A	B	C	D	E
Diámetro primitivo mínimo [mm]	63	100	160	280	400

Fuente: catalogo Roflex

Ahora se asume el diámetro d_p , con este valor se determinar el diámetro de la otra polea, para lo cual empleamos la relación de transmisión de la siguiente forma:

$$D_p = i * d_p \quad (19)$$

Cálculo de la distancia entre ejes:

Es la distancia mínima que deberán separar a las poleas, y nos ayudará a seleccionar la correa más adecuada.

$$C \geq \frac{(i + 1) * d_p}{2} + d_p \quad (20)$$

En cambio para relaciones mayores a 3 tenemos:

$$C \geq D_p \quad (21)$$

Dónde:

C = Distancia entre centros

i = Relación de transmisión

d_p = diámetro primitivo polea rápida

D_p = Diámetro primitivo polea lenta

Longitud primitiva

Es el valor aproximado de la longitud de la correa, que es un dato que nos ayudará directamente a la selección de la correa:

$$L = 2 * C + 1.57 * (D_p + d_p) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4 * C} \quad (22)$$

Dónde:

L = Longitud de la correa

C = Distancia entre ejes

d_p = diámetro primitivo polea rápida

D_p = Diámetro primitivo polea lenta

Distancia entre centros corregida

$$C_c = C \pm \left| \frac{L - L_n}{2} \right| \quad (23)$$

Considerando que:

(+) si $L < L_n$

(-) si $L > L_n$

Dónde:

C_c = Distancia entre centros corregida (mm)

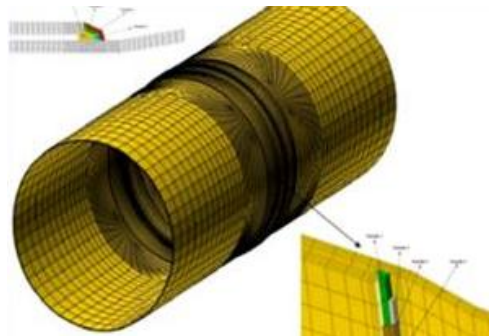
L_n = Longitud normalizada de la correa (mm)

2.2.6 Fundamentos del método de elementos finitos. El método de elementos finitos es utilizado para la resolución con simulación virtual de fenómenos físicos presentes en la ingeniería los mismos que pueden ser modelados por medio de expresiones matemáticas y ecuaciones diferenciales parciales, que tiende a ser imposible su resolución por métodos de matemáticos tradicionales, siendo necesaria la utilización del método de elemento finito para resolver estas ecuaciones de manera más rápida y con un alto grado de confiabilidad.

2.2.6.1 Conceptos del método de elementos finitos. El método de elementos finitos se basa en una metodología sistemática determinando que cualquier estructura o sistema sea definido como un cuerpo al cual se le divide en diferentes dominios que se denomina elementos finitos, que son los elementos conectados por medio de nodos, en donde se definen los grados de libertad y por lo tanto los desplazamientos a los que se somete el cuerpo debido a las fuerzas externas que actúan sobre él, formando un grupo del cual se puede generar una malla a la cual se le denomina como malla de elemento finito o malla de rigidez.

Malla o matriz de rigidez. Para resolver un problema por método de elementos finitos se debe crear una malla de rigidez, que es aquella que relaciona las coordenadas de desplazamiento que son afectadas por las fuerzas exteriores a la cual es sometido el cuerpo.

Figura 33. Malla de rigidez



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/aplicacion-mef-soldadura/image008.jpg>

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \quad (13)$$

Dónde:

K = Matriz de rigidez

δ = Desplazamientos nodales

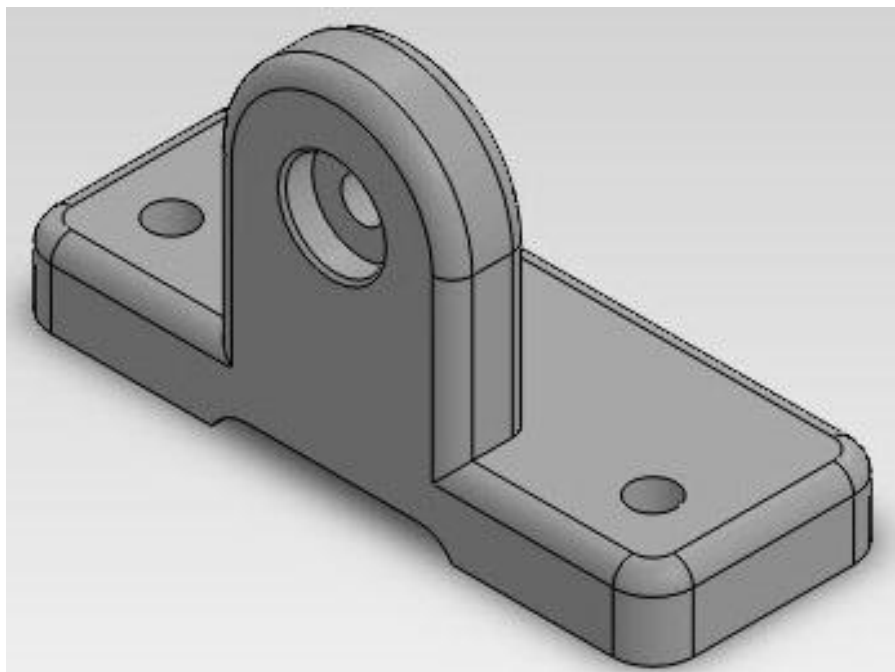
F = Fuerzas aplicadas al sistema

Depende del número de nodos la confiabilidad del resultando, entre más cantidad de nodos la confiabilidad aumenta, y el tiempo de cálculo aumentará, al obtener esta información se convertirá en una herramienta de ayuda para el plan de diseño.

2.2.6.2 Modelo y análisis del método de elementos finitos. Generalmente los sistemas a ser analizados son divididos en secciones que se indican a continuación:

Dominio: Se conoce como dominio al cuerpo que va a ser analizado, en elementos finitos se denomina malla, que luego es dividida en subdominios (discretización).

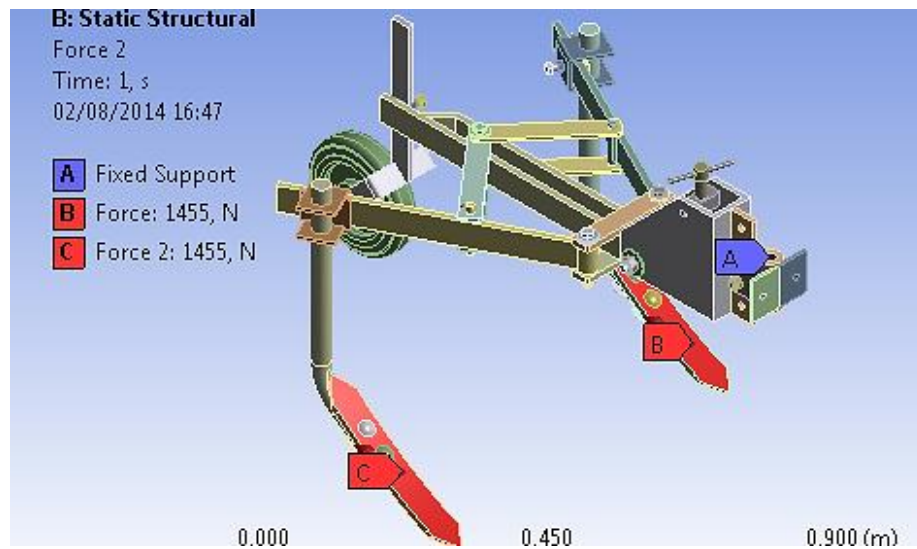
Figura 34. Malla de rigidez



Fuente: <http://cannabis68disenhoomecanico.blogspot.com/2011/08/leccion-3-modelado-basico-de-piezas.html>

Condiciones de contorno: Son las diferentes variables conocidas a la cual se encuentra sometido el cuerpo que provocan cambios en el mismo.

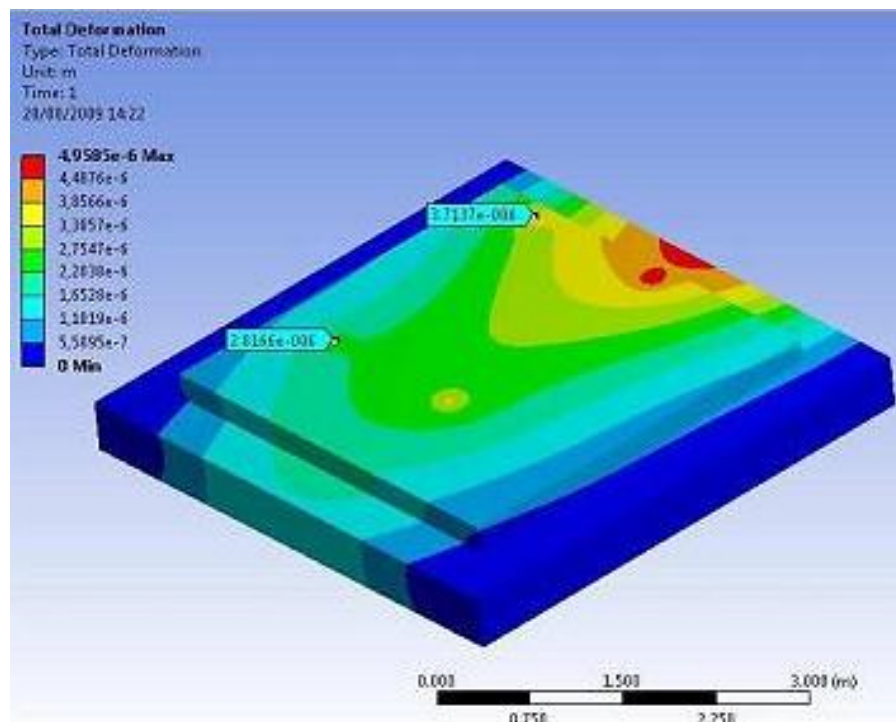
Figura 35. Condiciones de contorno



Fuente: Autores

Incógnitas: Son las variables que se desean conocer después de haber aplicado las condiciones de contorno, conociendo de esta manera el efecto de las mismas en el cuerpo.

Figura 36. Resultados del MEF



Fuente: <http://www.scielo.org.co/img/revistas/ince/v6n11/a02f2.jpg>

Para utilizar el método de los elementos finitos se debe realizar el proceso de discretización que nos ayudara a la solución del problema, consiste en dividir el dominio

en pequeños elementos llamados subdominios los mismos que se representan como puntos en el caso lineal y como superficies en el caso tridimensional, el cual puede ser aplicado a cualquier sistema sin importar la complejidad de este. El método consiste en plantear una matriz de rigidez que es la representación de la relación existente entre las fuerzas con las deformaciones. Se procede al ensamblaje de la malla de rigidez para toda la estructura y luego se aplica el análisis matricial de la estructura.

2.2.6.3 Procedimiento del análisis por elementos finitos usando un software. Para realizar un análisis en computadora es necesario seguir las siguientes etapas:

- 1.- Pre-proceso o definición del modelo
- 2.- Solución del análisis
- 3.- Post-proceso

Pre-proceso.- Esta etapa consiste en construir un modelo de la estructura a ser analizada, consiste en definir correctamente las características geométricas de ésta y los parámetros exteriores a los cuales se encuentra sometida la estructura, para obtener mayor credibilidad de los resultados se puede utilizar modelos CAD o de otros ambientes de MEF, luego se realiza todo el proceso que requiere el método de elementos finitos.

Solución del análisis.- Se basa en las ecuaciones que gobiernan el problema, es realizado por el respectivo software de elementos finitos, es muy común que el software maneje una gran cantidad de ecuaciones.

Las ecuaciones algebraicas son ordenadas en forma de matrices, para luego ser computadas y finalmente utilizadas para sustituir y computar variables derivadas tales como fuerzas de reacción, esfuerzos a los cuales se encuentra sometido el modelo e incluso procesos de transferencia de calor.

Post-proceso. Es la fase final del proceso de MEF, se basa en la publicación de resultados que estarán en base a los requerimientos ingresados por el usuario, pudiendo ser estos coeficientes de seguridad, máximos valores de deformación, en el caso térmico llegando a determinar temperaturas en puntos específicos entre otros.

Los resultados serán empleados por el usuario para la validación o el cambio de condiciones del modelo original.

2.2.7 Procedimiento de pruebas para accesorios agrícolas. Las pruebas del motocultor y los prototipos de los implementos se los realizará en taller y campo en base al manual (CENEMA-INIFAP, 2014), (Ashburner, y otros, 1984) que expresa lo siguiente:

Es necesario valorar el desempeño de cada uno de los aperos para lo cual, el primer paso es obtener los datos generales del motocultor tales como marca, modelo , tipo dimensiones generales, peso, fuerzas de tracción, potencia y torque máximo.

Posteriormente, debemos indicar el tipo de implemento, acoplamiento, dimensiones generales del equipo, masa, rangos de velocidad y potencia recomendados y alguna otra información proporcionada por el fabricante que se crea importante.

Las principales pruebas que se realizarán a los implementos son:

2.2.7.1 Comportamiento de la tracción del motocultor: Se realizará el balance de tracción del motocultor en base a su eficiencia en el campo.

En primer lugar se debe determinar la velocidad y el patinaje del motocultor, esta prueba se la debe realizar en una superficie limpia horizontal, de concreto o asfalto con el mínimo número de uniones.

Es indispensable que la línea de acción de la fuerza de prueba de tracción debe ser horizontal, y que la altura de la barra de tiro o el acople permanezca fija con relación al motocultor durante toda la prueba.

2.2.7.2 Pérdida de potencia debido a la altura. La presión atmosférica afecta a la potencia y la eficiencia que suministra un motor de combustión interna, es por eso que se hace necesario el cálculo del reajuste de potencia a una altura diferente a nivel del mar, para esto emplearemos las siguientes ecuaciones:

$$\eta_a = \left(1 - \frac{h}{10000}\right) \quad (25)$$

$$P_a = (1 - \eta_a) * P_e \quad (26)$$

Dónde:

η_a = Factor de corrección debido a la altura

h = altura a la cual se desea hacer el ajuste

P_a = Potencia corregida

P_e = Potencia a nivel del mar

2.2.7.3 Pérdida de potencia debido a la transmisión. Debido a los elementos de transmisión existe una pérdida de potencia, que se puede calcular mediante la ecuación propuesta a continuación:

(27)

$$P_t = \eta_a(1 - \eta_t)P_e$$

Dónde:

η_t = Eficiencia por la transmisión

P_t = Potencia de pérdida por transmisión

2.2.7.4 Velocidad de operación. Esta prueba considerará el tiempo que le toma al accesorio recorrer una distancia de 20 m, es necesaria la toma de algunos datos para que la prueba tenga soporte estadístico, posteriormente se calculará la media proporcional de estos valores, para finalmente emplear este resultado en la ecuación mostrada a continuación:

(28)

$$V_{op} = 3.6 \left(\frac{D_p}{t_m} \right)$$

Dónde:

V_{op} = Velocidad promedio de operación, (Km/h)

D_p = Distancia de referencia (m)

t_m = Tiempo promedio de todos los trayectos (s)

2.2.7.5 Determinación del porcentaje de patinaje. Ashburner señala que para determinar el porcentaje de patinaje se expresa mediante la ecuación:

$$Patinaje = \frac{(Pérdida de distancia recorrida)}{(Distancia teórica recorrida por la rueda)} \quad (29)$$

$$S = \frac{d_n - d}{d_n} = \left(1 - \frac{d}{d_n} \right)$$

$$S = \frac{V_n - V}{V_n} = \left(1 - \frac{V}{V_n} \right) \quad (31)$$

Dónde:

d = Distancia recorrida con patinaje

V = Velocidad con patinaje

d_n = Distancia recorrida teórica, sin patinaje

V_n = Velocidad recorrida teórica, sin patinaje

2.2.7.6 Eficiencia de patinaje. Debido al patinaje se produce una pérdida de potencia en el motocultor, y se cuantifica de la siguiente forma.

$$\eta_s = 1 - s \quad (32)$$

2.2.7.7 Pérdida de potencia por patinaje. Este factor está determinado por la potencia que entrega el motocultor, la pérdida de potencia debido a la altura y la pérdida de potencia por la transmisión.

$$P_s = s(P_e - P_a - P_t) \quad (33)$$

2.2.7.8 Profundidad de trabajo. De debe utilizar un riel de madera graduado que nos permitirá medir la profundidad del accesorio, de esta forma se determinará la profundidad de trabajo.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

3.1 Metodología del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se empleará la metodología basada en el modelo de Pahl y Beitz, la cual podrá ser modificada durante el proceso.

3.2 Fases de Diseño

3.2.1 FASE 1. Especificaciones. En esta fase se recopila la información acerca de los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en el producto. Adicionalmente se identifica los problemas esenciales. Establece estructuras funcionales, busca principios de solución, combina y confirma en variantes de conceptos y finalmente evalúan por criterios técnicos y económicos

3.2.2 FASE 2. Diseño conceptual. Se define como la fase del proceso de diseño que toma el planteamiento del problema (especificación de diseño) y genera soluciones amplias en forma de esquemas (conceptos).

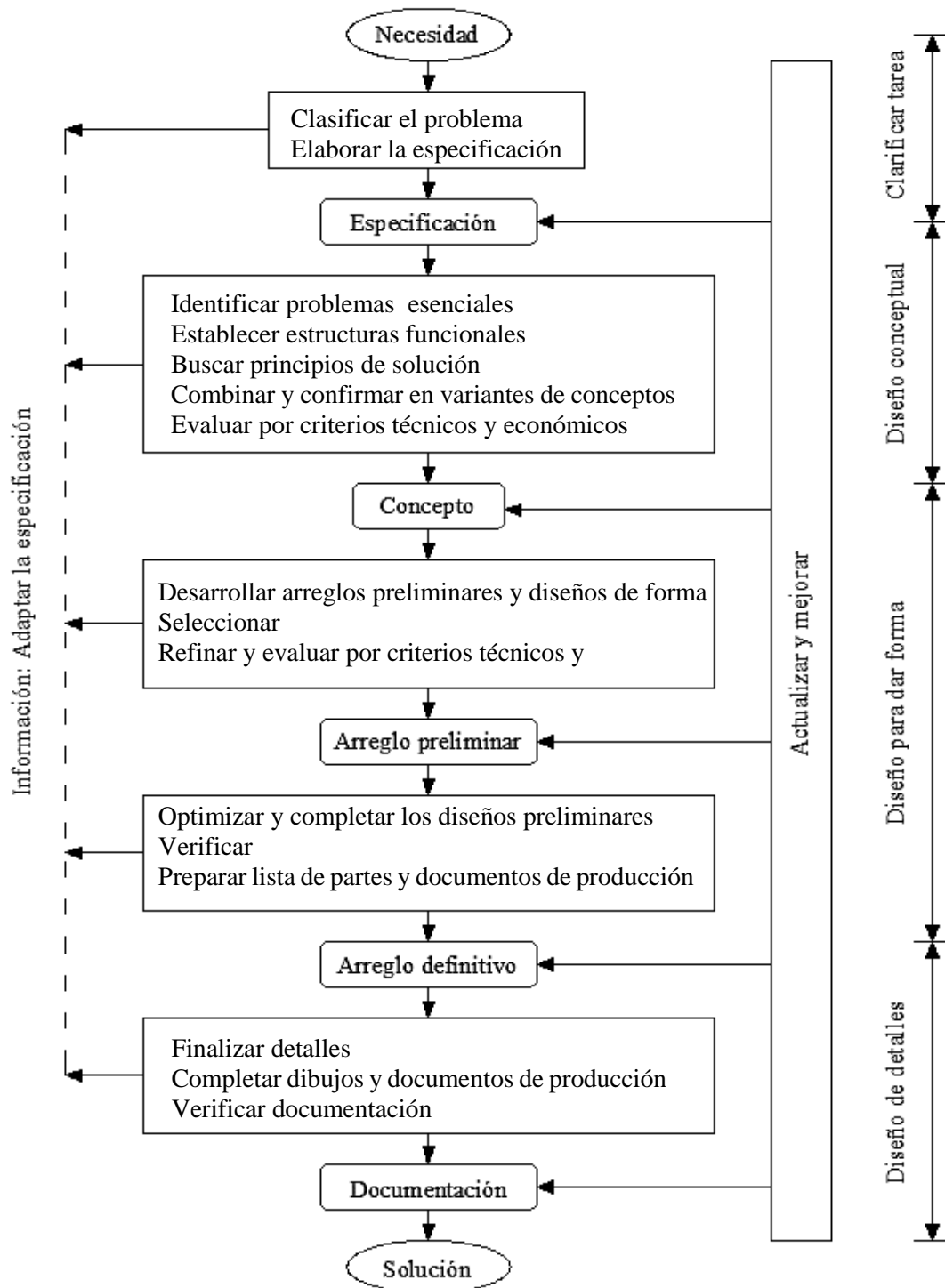
3.2.3 FASE 3. Diseño de ingeniería. Esta fase parte del concepto, se desarrolla con mayor detalle y se hacen los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad del sistema para así desarrollar un producto de acuerdo con las consideraciones técnicas, económicas y de producto. Se genera un plano de conjunto que lo explique en su totalidad.

3.2.4 FASE 4. Diseño de detalle. En esta etapa del proceso de diseño se parte de una definición proporcionada por los planos de conjunto y la memoria anexa. El diseño de detalle se expresa a través de un plano, el cual tiene como objetivo precisar y plasmar toda la información necesaria sobre los detalles de fabricación. (Icaza, 2009)

Las fases de diseño de la metodología de Pahl y Beitz es una adecuada forma para establecer procesos de diseño y prototipos que vayan acorde a las necesidades.

En la figura 37 se establece los diferentes procesos a desarrollarse en la metodología de diseño de Pahl y Beitz, el mismo que nos permitirá la concepción de un diseño adecuado a las necesidades del usuario

Figura 37. Principios de diseño basados en metodología de Pahl y Beitz



Fuente: (Cross, 1999)

3.3 Proceso de diseño

3.3.1 Definición del problema. Los campos en nuestra zona interandina, se encuentran dividido en pequeñas propiedades, lo que se traduce en medianas condiciones económicas por parte de los propietarios, dicha condición económica dificulta la adquisición o contratación de tractores que facilitan y agilitan el trabajo agrícola, por esta razón el trabajo agrícola se vuelve más complicado y demorado.

En la actualidad se ha producido un abandono de la zona agrícola por la razón anteriormente señalada. Para superar esta problemática se presenta una alternativa de utilización de motocultores que ayudan a la realización de las labores agrícolas, por ser más accesibles económicamente y consistir en equipos más livianos que los tractores por consiguiente producen menos compactación al terreno agrícola.

Los motocultores en nuestro medio no cuentan con los implementos apropiados que mejoren sus resultados, es así que surge la necesidad de la construcción de los siguientes accesorios.

3.3.2 Declaración de la misión

3.3.2.1 Descripción de los equipos. Tres son los accesorios agrícolas que se desean diseñar y construir, adicionalmente existe un cuarto accesorio que se propondrá el diseño, dichos accesorios será descritos a continuación:

- a) Arado de Cincel: herramienta utilizada para la labranza del suelo, el mismo que debe superar irregularidades presentes, y permitir oxigenación al suelo.
- b) Remolque: Su finalidad es aprovechar la potencia suministrada por el motocultor para el transporte de objetos desde su almacenamiento al lugar deseado.
- c) Ruedas de Pendiente: Herramienta que permite aprovechar de mejor manera el torque de las ruedas del motocultor, aumentando la eficiencia del mismo cuando trabaja en terrenos que poseen pendientes significativas.

3.3.2.2 Mercado primario. El principal objetivo de la presente, es satisfacer la necesidad que posee la provincia de Chimborazo, debido a que el MAGAP de la provincia cuenta con un alrededor de 200 motocultores que fueron proporcionados por el gobierno nacional

y que debido a que son importados no se encuentran adaptados a la geografía de nuestro país y no cuentan con los suficientes accesorios para aprovechar de mejor manera su funcionalidad.

3.3.2.3 *Postulados.* Eficacia, eficiencia, fácil mantenimiento y de fácil manipulación.

3.3.2.4 *Personas interesadas.* MAGAP y pequeños agricultores de la provincia de Chimborazo.

CAPÍTULO IV

4. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

4.1 Objetivo de la investigación

Proporcionar de accesorios necesarios para aumentar las funcionalidades del motocultor en nuestro país, y que aseguren un interés en el campo agrícola y disminuya el esfuerzo por parte del agricultor.

4.2 Necesidades del operario

Tabla 6. Manifestaciones de los clientes: (Arado)

PREGUNTA / SUGERENCIA	ENUNCIADO DEL CLIENTE	NECESIDAD INTERPRETADA
1. ¿Usos típicos?	Necesito que el arado corte y airee el suelo	El arado tiene cuchillas de corte delgada
	En ocasiones trabajo en suelos no muy compactados	Disponga de un acople para intercambio de cuchillas rígidas a flexibles
2. ¿Le gusta la herramienta actual?	Me gusta cómo trabaja al suelo	Cuenta con una cuchillas de corte y aletas de estallamiento
	La regulación de profundidad	Presenta un mecanismo de regulación de penetración en el suelo
3. ¿No le gusta la herramienta actual?	no me gusta el exceso de esfuerzo del operario para conseguir la penetración adecuada	Cuenta con un ángulo de ataque en la cuchilla de corte
4. ¿Mejoras sugeridas?	Que se intercambien las cuchillas para suelos duros y medios	Posee un sistema de acople para cambio de cuchillas
	Que el operario puede ir sentado	Necesidad de un mecanismo de apoyo para el operario

Fuente: Autores

La principal función de la encuesta es identificar las necesidades latentes acerca del arado de cincel, llegando a concluir que existe una gran necesidad de este accesorio, y que debería contar con dispositivos reguladores de profundidad, y de regulación de distancia para el ancho de trabajo.

4.3 Necesidades del cliente

En base a las necesidades que se identificaron anteriormente, las clasificaremos en grupos funcionales y daremos una valoración a las mismas con el fin de identificar las más importantes y que deberán ser consideradas al momento de definir el diseño.

Tabla 7. Tablas de necesidad (Arado)

Núm.	Especificaciones	Necesidad	Imp.
1	Funcionales	Permita regulación dimensional de los elementos	4
2		Tamaño y peso adecuado	5
3		Potencia Requerida	5
4		Ancho de trabajo	3
5	Entorno de trabajo	Mayor cantidad de surcos de arado	5
6		Capacidad de trabajo	3
7		Profundidad de trabajo	4
8	Usuario	Inspira orgullo	5
9	Mantenimiento	Fácil acceso para mantenimiento	3
10		Uso de herramientas sencillas	4
11		Fácil intercambio de elementos	3
12	Instalación	Permite unir el arado al motocultor rápidamente	3
13	Costo del producto	Accesible para medianos agricultores	4
14	Seguridad	Cuenta con protecciones	3

Fuente: Autores

4.4 Matriz NECESIDAD-MÉTRICA:

Es necesario definir en primer lugar las necesidades del operario, y posteriormente se debe establecer las métricas para cada una de dichas necesidades con esto, se podrá determinar las unidades para cada una de las medidas.

Tabla 8. Matriz necesidad-métrica

NECESIDAD		MÉTRICA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Masa Total	Espesor de cuchillas	Espesor de pared de chasis	Ancho del arado	Distancia entre puntas	Potencia	Inspira Orgullo	Condiciones de trabajo	Capacidad de trabajo	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	Herramientas especiales necesarias para mantenimiento	Seguridad Física
1	Permita regulación dimensional de los elementos					•							
2	Tamaño y peso adecuado	•	•	•									
3	Potencia Requerida			•			•						
4	Ancho de trabajo				•								
5	Mayor cantidad de surcos de arado									•			
6	Capacidad de trabajo								•				
7	Profundidad de trabajo					•							
8	Inspira orgullo							•					
9	Fácil acceso para mantenimiento										•		
10	Uso de herramientas sencillas											•	
11	Fácil intercambio de elementos										•		
12	Permite unir el arado al motocultor rápidamente										•		
13	Accesible para medianos agricultores												
14	Cuenta con protecciones												•

Fuente: Autores

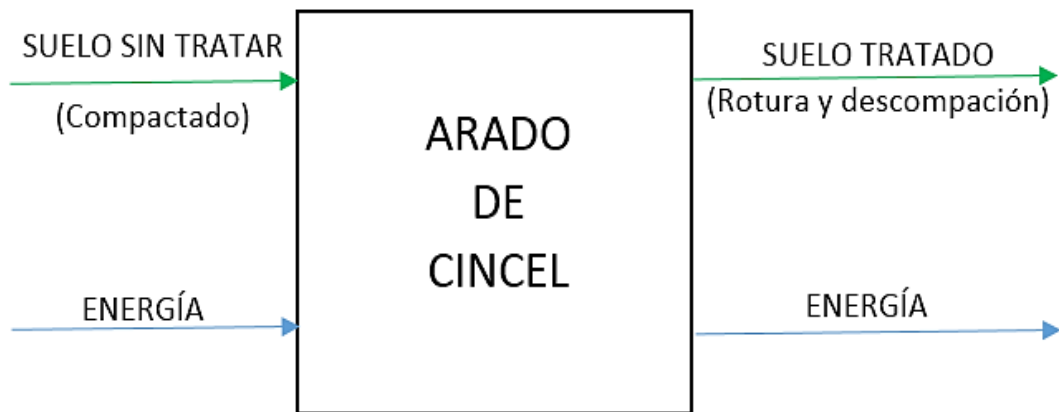
CAPÍTULO V

5. DISEÑO CONCEPTUAL

5.1 Establecimiento de funciones

5.1.1 *Caja negra.* Nuestro análisis se fundamentó en un diseño deductivo es decir, el punto de partida fue un análisis general para luego llegar a un análisis particular. La caja negra se basa en el método de diseño propuesto por Nigel Cross.

Figura 38. Caja Negra (Arado de Cincel)



Fuente: Autores

5.1.1.1 *Flujos de arado cincel.* Los flujos que circulan por el sistema son:

Flujos de entrada: El suelo sin tratar, es decir un suelo compactado que no permite la agricultura, y la energía suministrada por el motocultor para el movimiento del accesorio que realizará el trabajo.

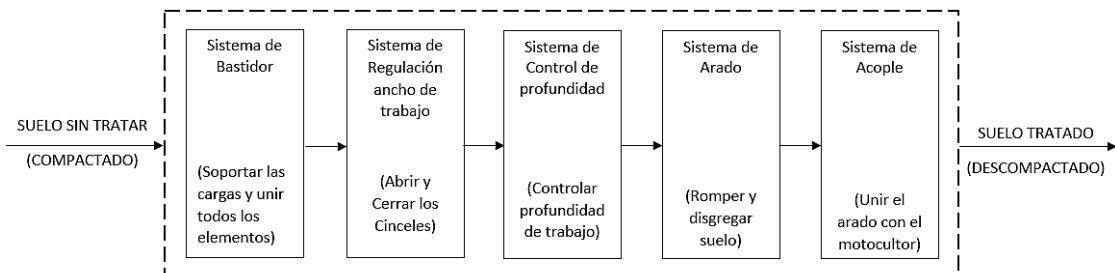
Flujo de salida: Energía y un suelo fragmentado y descompactado, con lo cual el suelo se convierte en un suelo apto para el cultivo.

Función principal: Descompactar y airear el suelo agrícola.

Flujo principal: Continuo.

5.1.2 Estructura funcional. Para este punto es importante investigar y analizar con profundidad el funcionamiento del elemento a partir de las secuencias y procesos que le pertenecen. Esto se consigue a partir de la caja negra que se convierte en transparente cuando se detalla cada función secundaria. (Cross, 1999)

Figura 39. Caja transparente (análisis de funciones del arado de cincel)



Fuente: Autores

a. Sistema de bastidor

Compuesto por una estructura, que es la encargada de resistir todas las cargas generadas durante el trabajo del arado de cincel.

b. Sistema de regulación del ancho de trabajo

Mecanismo que permite el aumento o disminución de la distancia entre rejas de arado, para permitir diferentes anchos de trabajo que se pueden ajustar a las necesidades del agricultor.

c. Sistema de control de profundidad

Su principal función es permitir que las rejas o cuchillas del arado adquieran diferentes profundidades, que dependerá de la necesidad y en algunos casos del tipo de suelo.

d. Sistema de arado

Constituido por rejas con formas específicas que permitirán la descompactación y el corte del suelo, el sistema de arado es el que actúa directamente sobre el suelo.

e. Sistema de acople

Permite la unión del apero con el motocultor, que es el encargado de suministrar la potencia y la energía necesaria.

5.2 Generación de alternativas

La estructura funcional es el punto de partida, con la descripción de los diferentes sistemas se podrá asignar diferentes alternativas y poder evaluarlas, a este procedimiento se denomina matriz morfológica.

5.3 Metodología de evaluación de resultados

Mediante la realización de la matriz morfológica se generan alternativas de solución para el diseño de nuestra necesidad, es necesario evaluar estos conceptos para llegar a la mejor solución.

Para evaluar las alternativas de solución emplearemos un método que consta de dos etapas, la primera etapa se denomina *proyección del concepto* y la segunda es la fase de *puntuación del concepto*, con estas dos fases lograremos valorar y cuantificar la simplicidad, eficiencia, adaptación del elemento al medio de trabajo y su desempeño en campo.

La primera etapa se constituye en un macro análisis es decir se evalúa de una forma rápida las diferentes alternativas que resultan viables o factibles, y en la segunda etapa se desarrollará un análisis más detallado de las alternativas que da como resultado un producto deseable. (Icaza, 2009)

5.3.1 *Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de proyección.* La puntuación otorgada en la matriz de proyección es:

Tabla 9. Puntuación en la matriz de proyección

Mayor que	+
Igual que	0
Peor que	-

Fuente: (Ulrich, 1990)

El primer paso es tomar conceptos de referencia para cada uno de los sistemas funcionales que permiten el funcionamiento de los diferentes accesorios, y en base a los criterios de necesidad se otorgará una puntuación a cada uno de los sistemas.

El punto de partida será las necesidades tanto de los operadores y de los clientes como de las facilidades constructivas con las que se cuenta para poder implementar el accesorio, estos aspectos generan criterios de evaluación, es importante recordar que en el caso de la matriz de proyección los aspectos de evaluación tienen el mismo peso sobre la puntuación final de la alternativa.

Para obtener una evaluación o puntuación neta, primero se debe determinar la diferencia entre la suma de los valores positivos y la suma de los valores negativos, luego se debe ordenar los conceptos por rangos y se decide según los resultados las alternativas que deben continuar o no. Los criterios de evaluación que se implementarán son los siguientes:

Tabla 10. Criterios de evaluación para matriz de proyección

Criterios de evaluación	
Desempeño	1. Ancho surco de arado
	2. Profundidad de surco
	3. Continuidad de surco
	4. Buena descompactación
	5. Eficiencia
Tamaño	6. Ancho de Trabajo
Mantenibilidad	7. Durabilidad
	8. Facilidad
	9. Fácil sustitución
Costos	10. Económicos
Ergonómicos	11. Comodidad
Seguridad	12. Riesgos al operador

Fuente: Autores

En los Anexos E se adjuntan las matrices de proyección de cada uno de los sistemas.

5.3.2 Puntaje y criterio de evaluación para la matriz de puntuación. La puntuación de concepto está definida por la suma ponderada de las calificaciones, por lo tanto cada criterio de evaluación tiene un porcentaje sobre el resultado final.

Las puntuaciones que se otorgan en la matriz de puntuación es:

Tabla 11. Desempeño relativo para la matriz de puntuación

Desempeño	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente; Ulrich, Karl T. Diseño y desarrollo de productos

Se implementan los mismos criterios de evaluación de la matriz de proyección; la diferencia radica en el porcentaje de incidencia que cada criterio va a tener.

Tabla12. Criterios de evaluación para la matriz de puntuación

	Criterios de evaluación	% de incidencia
1	Ancho surco de arado	10%
2	Profundidad de surco	15%
3	Continuidad de surco	10%
4	Buena descompactación	15%
5	Eficiencia	10%
6	Ancho de Trabajo	10%
7	Durabilidad	5%
8	Facilidad de operación	5%
9	Fácil sustitución	5%
10	Económicos	5%
11	Comodidad	5%
12	Riesgos al operador	5%

Fuente: Autores

En el anexo F se grafican todas las matrices de puntuación para cada función y accesorio.

5.3.3 Descripción de los criterios

1 Ancho de surco de arado.- Se refiere al tamaño de la deformación que se produce en el suelo, luego de pasar el elemento de arado.

2 Profundidad de surco.- Se refiere a la dimensión o medida en la cual el elemento de corte se introduce en la tierra, dejando una deformación.

3 Continuidad de corte.- Se hace necesario que la profundidad y el ancho de trabajo permanezcan constantes, a esto se hace hincapié este parámetro.

4 Buena descompactación.- esta es la principal función que debe cumplir un arado, se trata de desfragmentar el suelo en pequeñas partículas.

5 Eficiencia.- Se refiere a la relación entre el trabajo realizado y los recursos que se tuvieron que utilizar para realizar dicho trabajo.

6 Ancho de trabajo.- Es la superficie que puede cubrir el arado en una sola pasada, está en función de actuadores o cuchillas de arado.

7 Durabilidad.- Es la cuantificación del tiempo que permanece el equipo trabajando bajo los parámetros de eficiencia.

8 Facilidad de operación.- Cubre la simplicidad del diseño del equipo, es decir que le resulte fácil y cómodo operar a la persona que pone en funcionamiento al accesorio.

9 Fácil sustitución.- Se refiere al tiempo y la simplicidad de acciones que se requieren emplear para la sustitución o cambio de un elemento dañado por su repuesto.

10 Económico.- El valor económico es un aspecto muy importante, debido a que se busca un equipo que cumpla todas las funciones al menor costo posible con la máxima eficiencia posible.

11 Comodidad.- La comodidad es un factor no tan importante como los demás pero que debe ser tomado en cuenta para generar comodidad al momento de operar el accesorio.

12 Riesgos al Operador.- Se fundamenta en la seguridad que proporciona el equipo, que evite los accidentes promoviendo el bienestar del operario.

5.3.4 Conceptos solución: En base a las matrices, se evalúan las alternativas de solución (Anexo G) que generan las siguientes rutas de solución.

 Ruta de solución 1

 Ruta de solución 2

Mediante las rutas de solución se podrá determinar combinaciones entre las alternativas, que generarán un concepto de solución coherente.

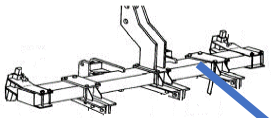







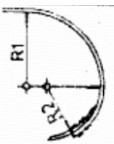



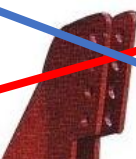

Funciones principales	Alternativas			
	1	2	3	4
1. Bastidor	Elemento estructural simple 	Estructura Cuadrangular 	Platina Estructural 	
2. Control de Profundidad	Rueda de profundidad 	Tornillos de Profundidad 		
3. Regulación ancho de trabajo	Sujetadores corredizos 	Brazos Pivotados 		
4. Sistema de Arado	arco de un solo radio 	arco de dos radios 	arco de tres radios 	brazo rígido 
5. Sistema de Acople	Acople Cilíndrico 	Acople de cajetin 	Acople tipo C 	

Figura 40. Matriz morfológica

5.3.4.1 Descripción ruta solución 1. La labranza se realiza mediante brazos rígidos que tienen la capacidad de trabajar en grandes profundidades, cuenta con mecanismo de barras que permite la regulación del ancho de trabajo de una forma muy simple. Todos los elementos se encuentran montados en un bastidor de platinas estructurales que facilita en grande la construcción del mismo, adicionalmente puede regular la profundidad mediante una rueda de profundidad o con un tornillo, y finalmente utiliza un acople de tipo cilíndrico que emplea un pasador y permite un movimiento transversal.

5.3.4.2 Descripción ruta solución 2. Emplea un bastidor robusto formado por un solo elemento estructural, en el que se montan abrazaderas que alojarán a los elementos de arado que en este caso serán brazos flexibles de un solo radio, el ancho de trabajo se regula mediante el movimiento de las abrazaderas y la regulación de profundidad mediante un tornillo de potencia. Finalmente, esta alternativa conjuga un acople de tres puntos, perdiendo el punto de libertad que proporciona la opción anterior.

5.3.5 Evaluación de las rutas de solución. Para seleccionar un conjunto de alternativas para el producto se ejecutan los siguientes pasos:

- Criterios de solución
- Evaluación del peso específico de cada criterio
- Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio
- Cálculo de la tabla conclusiones

5.3.5.1 Criterios de evaluación.- Las necesidades expresadas por el agricultor se constituyen en el punto de partida para la selección de los criterios de evaluación en la siguiente tabla.

Tabla 13. Criterios de Evaluación

Criterios de Evaluación
1. Eficiencia
2. Costo
3. Facilidad de fabricación
4. Regulación y control

Fuente: autores

5.3.5.2 Evaluación del peso específico de cada criterio

1=Si el criterio(o soluciones) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0= Si el criterio(o soluciones) de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0= Si el criterio(o soluciones) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas.

Tabla 14. Puntuación de conceptos

Regulación y control > eficiencia = costo > facilidad de fabricación						
Criterio	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	$\sum +1$	Ponderada
Regulación y control	-	1	1	1	4	0,4
Eficiencia	0	-	0,5	1	2,5	0,25
Costo	0	0,5	-	1	2,5	0,25
Facilidad de fabricación	0	0	0	-	1	0,1
					10	1

Fuente: Autores

5.3.5.3 Evaluación del peso específico de las distintas soluciones para cada criterio

Evaluación del peso específico del criterio *regulación y control*

Tabla 15. Evaluación del peso específico del criterio regulación y control

Solución 1 > Solución				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		suma	3	1

Fuente: Autores

*Evaluación del peso específico del criterio **eficiencia***

Tabla 16. Evaluación del peso específico del criterio eficiencia

Solución 1 = Solución				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	0,5	1,5	0,5
Solución 2	0,5	-	1,5	0,5
		suma	3	1

Fuente: Autores

*Evaluación del peso específico del criterio **costo***

Tabla 17. Evaluación del peso específico del criterio costo

Solución 1 > Solución				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		suma	3	1

Fuente: Autores

*Evaluación del peso específico del criterio **facilidad de fabricación***

Tabla 18. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de fabricación

Solución 1 > Solución				
Regulación y control	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderada
Solución 1	-	1	2	0,667
Solución 2	0	-	1	0,333
		suma	3	1

Fuente: Autores

5.3.5.4 Cálculo de tablas de conclusiones.

Tabla 19. Cálculo de tablas de conclusiones

Conclusión	Regulación y control	Eficiencia	Costo	Facilidad de fabricación	Σ	Prioridad
Solución 1	0,667 x 0,40	0,5 x 0,25	0,667 x 0,25	0,667 x 0,1	0,62525	1
Solución 2	0,333 x 0,40	0,5 x 0,25	0,333 x 0,25	0,333 x 0,1	0,37475	2

Fuente: Autores

5.3.5.5 Evaluación económica y técnica. Una vez que contamos con las dos alternativas planteadas y bien definidas, las someteremos a una evaluación desde el criterio económico. Se indicarán diferentes puntos de comparación, donde a cada propuesta se le asignará un valor [1 a 5], dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto en mención siendo el 1 malo y el 5 excelente.

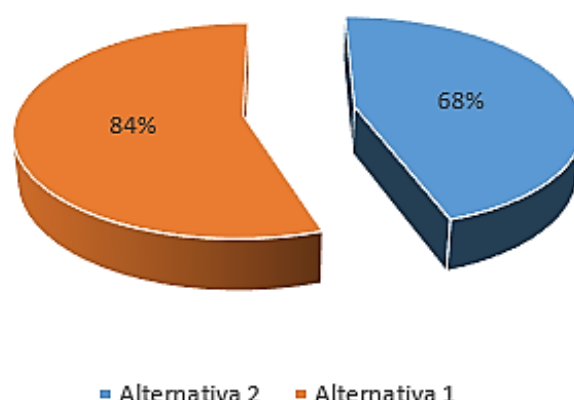
A los puntos de comparación también se les asignará un peso de [1 a 3], dependiendo de cuanta transparencia tengan con el desarrollo del proyecto, este peso será denominado como el factor de influencia siendo 1 importante, 2 muy importante y 3 imprescindible (CROSS, 2003).

Tabla 20. Evaluación económica

Evaluación Económica				
Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
		Opción 1	Opción 2	proyecto Ideal
Materiales	3	4	3	5
Fabricación	3	4	3	5
Operación	2	5	4	5
Mantenimiento	2	4	4	5
$TOTAL = \Sigma(Fi \times Pi)$		42	34	50
Coeficiente económico = $P_{total}/P_{puntaje\ Ideal}$		84	68	100

Fuente: Autores

Figura 42. Evaluación económica



Fuente: Autores

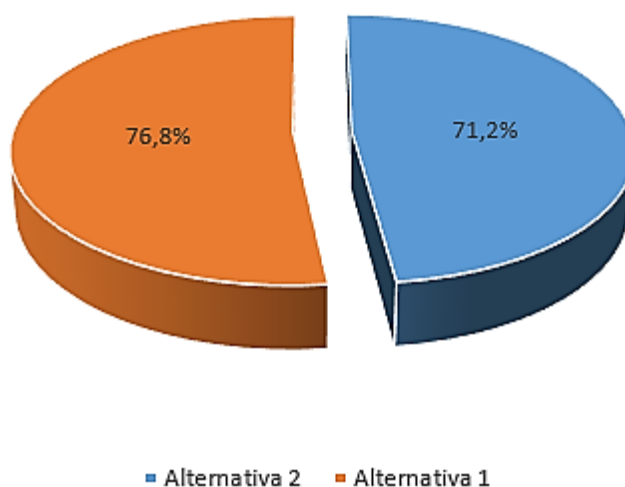
Para la evaluación técnica se empleará el mismo sistema de asignación de calificaciones, es así que tenemos:

Tabla 21. Evaluación técnica

Evaluación técnica				
Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (Pi)		
		Opción 1	Opción 2	proyecto Ideal
Ancho surco de arado	3	3	4	5
Profundidad de surco	2	5	3	5
Continuidad de surco	2	3	3	5
Buena descompactación	3	4	5	5
Eficiencia	3	3	3	5
Ancho de Trabajo	2	3	4	5
Durabilidad	2	5	4	5
Facilidad de operación	1	5	4	5
Fácil sustitución	1	5	3	5
Económicos	3	4	3	5
Comodidad	1	4	3	5
Riesgos al operador	2	4	3	5
$TOTAL = \sum (Fi \times Pi)$		96	89	125
Coeficiente económico = $P_{total}/P_{puntaje\ Ideal}$		76,8	71,2	100

Fuente: Autores

Figura 43. Evaluación técnica



Fuente: Autores

Evaluación de propuestas. Una vez obtenido los coeficientes técnicos y económicos, se procede a graficar las tres opciones más la opción ideal.

Figura 44. Evaluación de propuestas

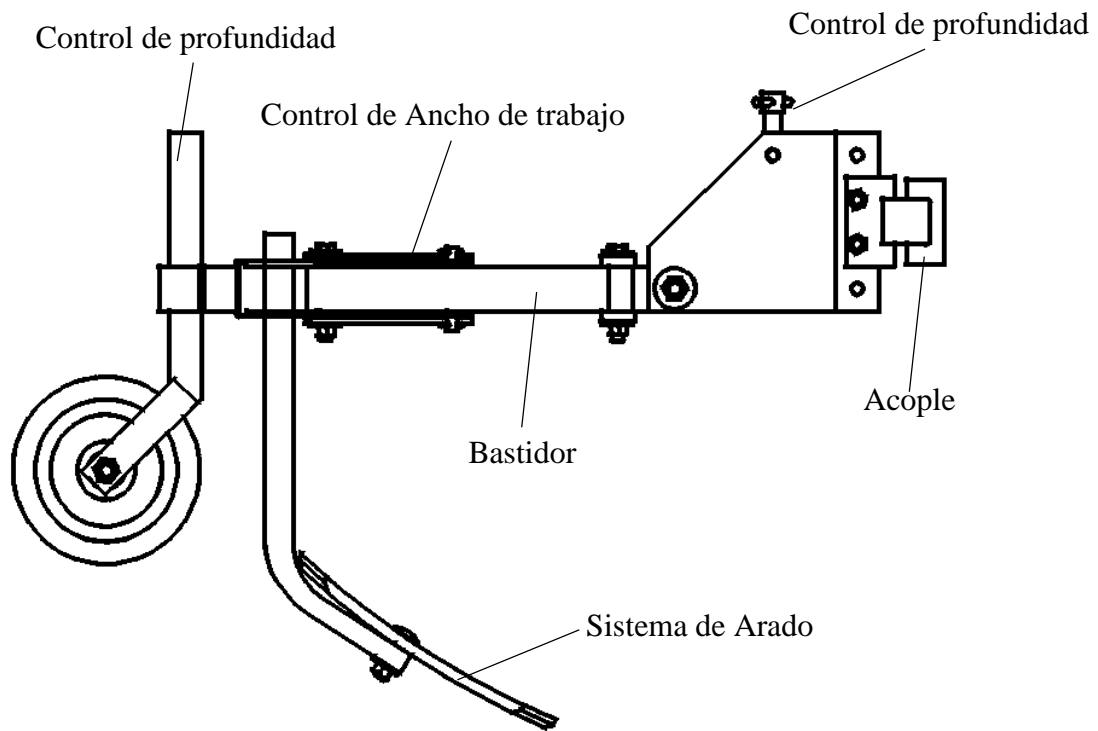


Fuente: Autores

5.3.5.6 Reflexionar sobre los resultados. El análisis de criterios muestra que la alternativa 1 resulta la más apropiada para nuestra necesidad, combina la simplicidad de diseño, con un alto desempeño y excelentes características de trabajo.

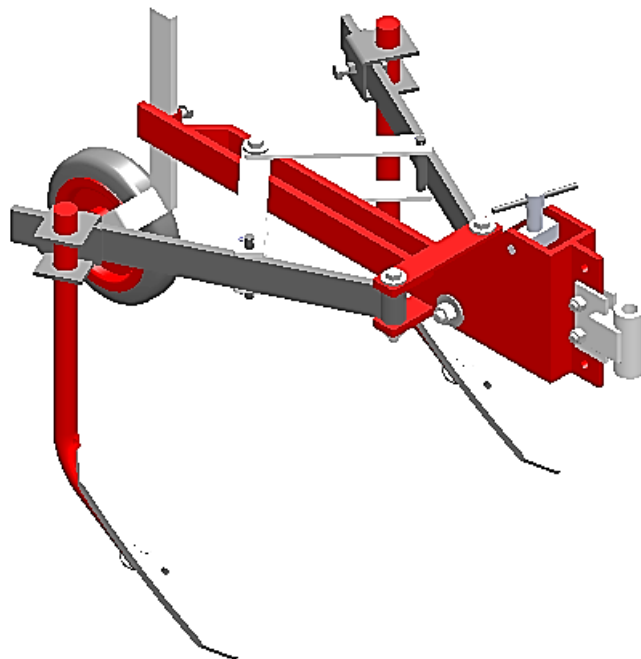
(ARADO DE CINCEL)

Figura 45. Equipo alternativa 2



Fuente: Autores

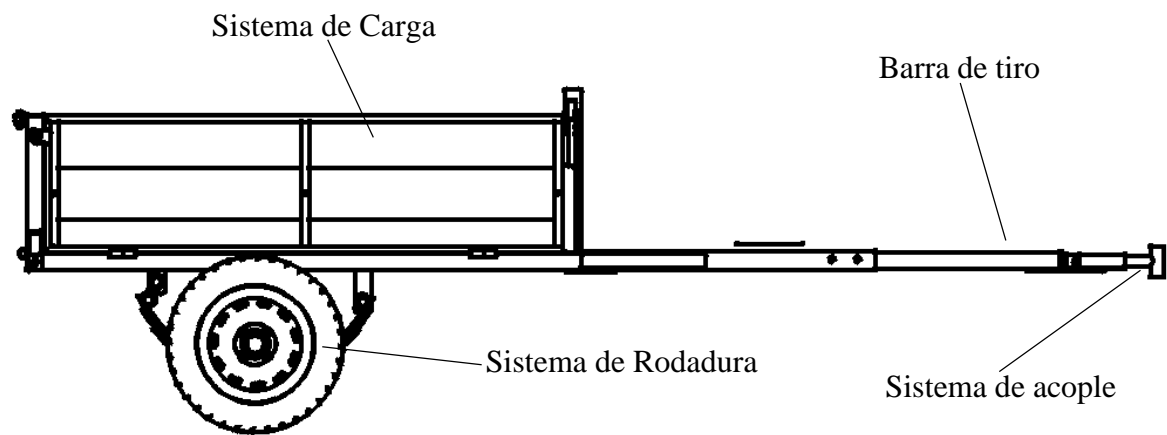
Figura 46. Modelación equipo alternativo 2



Fuente: Autores.

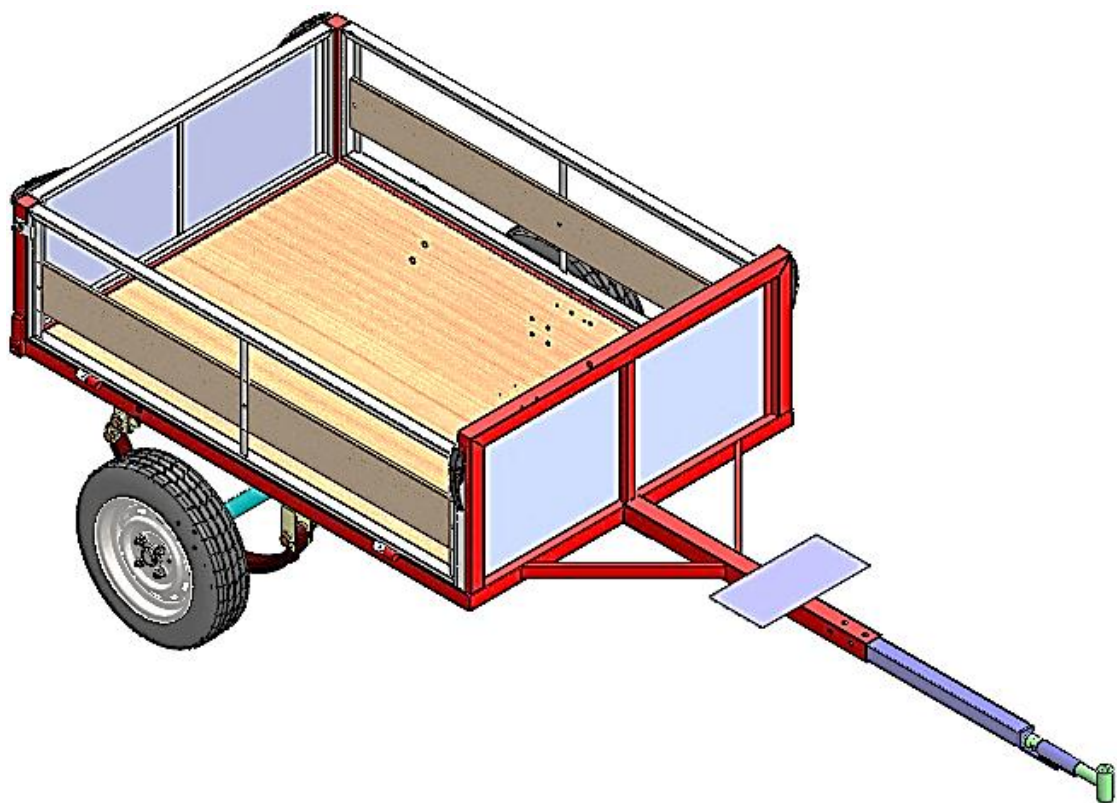
(REMOLQUE)

Figura 47. Equipo alternativa 1



Fuente: Autores

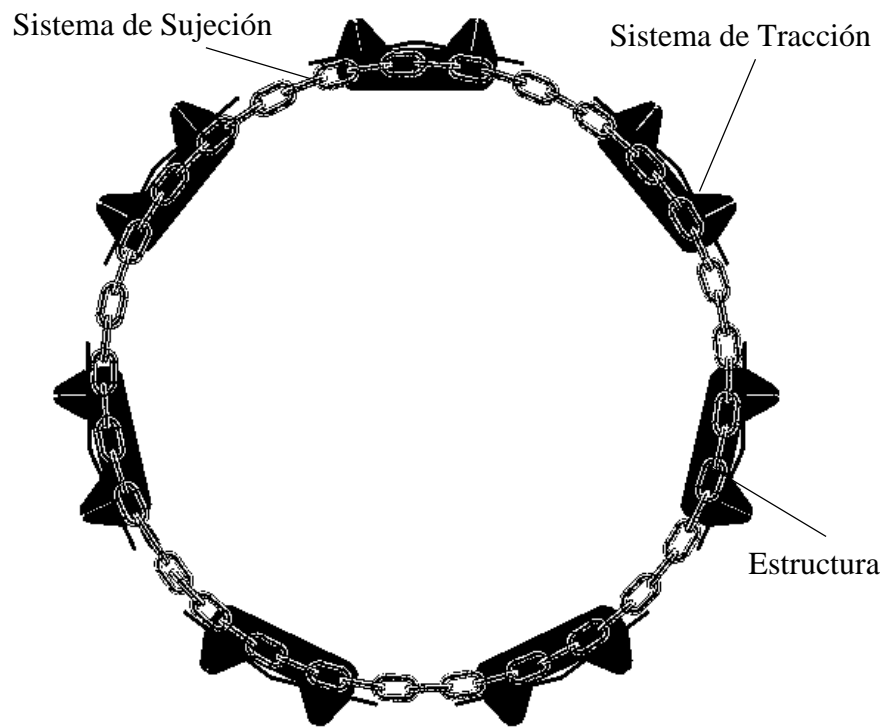
Figura 48. Modelación equipo alternativa 1



Fuente: Autores

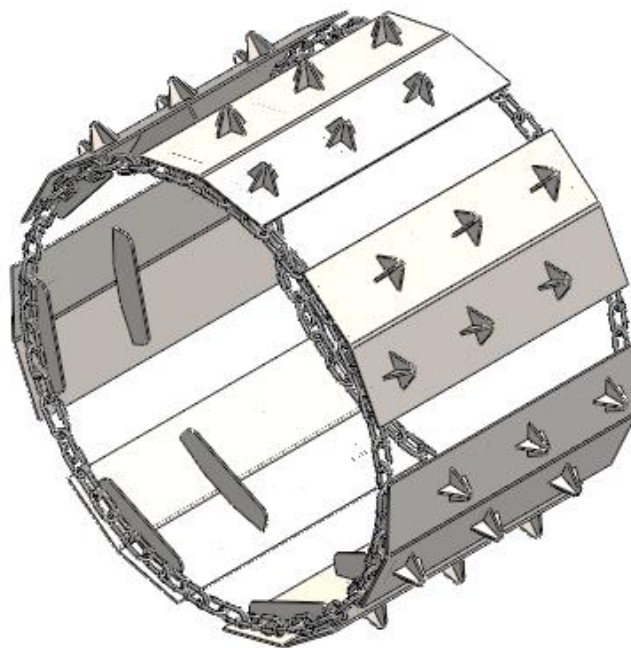
(RUEDAS DE PENDIENTE)

Figura 49. Equipo alternativa 2



Fuente: Autores

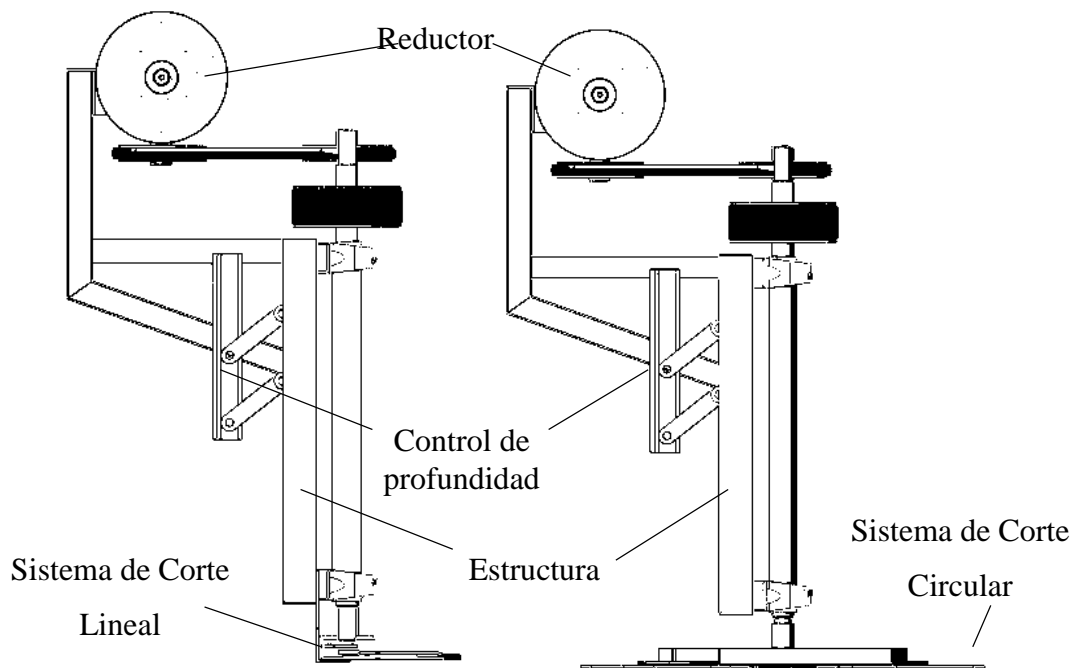
Figura 50. Equipo alternativo 2



Fuente: Autores

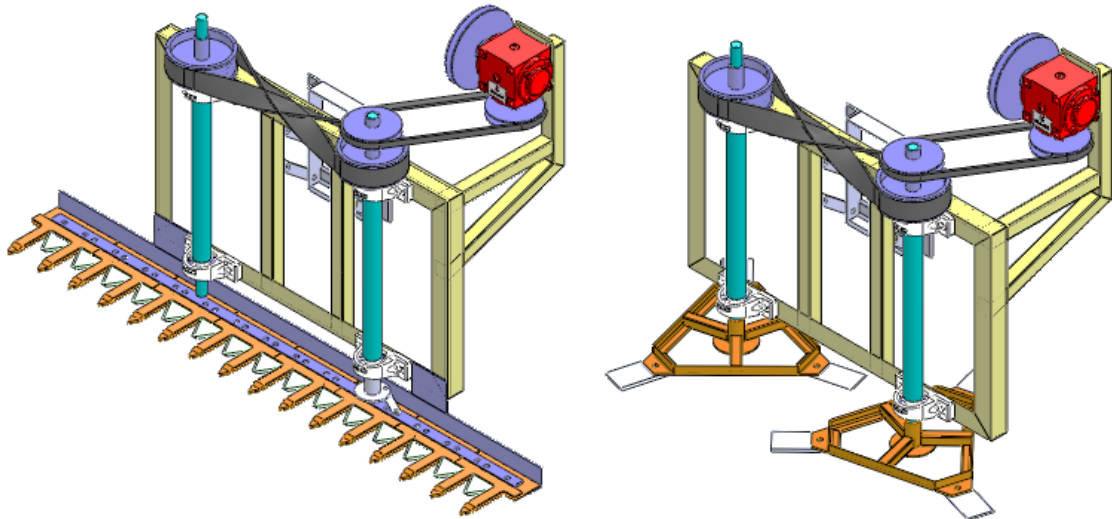
(RUEDAS DE PENDIENTE)

Figura 51. Equipo alternativa 2



Fuente: Autores

Figura 52. Equipo alternativa 2



Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. DISEÑO DE INGENIERÍA

6.1 Diseño de elementos mecánicos

6.1.1 *Datos de campo.* Los equipos agrícolas son diseñados para todos tipos de suelos agrícolas, debido a que ha sido diseñado para un suelo de tipo arcilloso, que se constituye en el suelo que presenta la mayor resistencia a la labranza.

Utilizando el caso específico de las ruedas de pendiente, principalmente sirve para la adaptación del motocultor a terrenos inclinados por lo que se hace un accesorio adecuado para región interandina.

6.2 Necesidad de uso de los equipos.

Al hablar del arado, la principal función es el estallamiento del suelo, actividad con la cual se busca la descompactación del suelo, paso previo para cualquier proceso agrícola de siembra de todo producto. En el caso del remolque, es aprovechar la potencia para permitir el transporte de cargas facilitando el transporte de cosas necesarias como abono, accesorios para el motocultor entre otras cosas importantes para el agricultor. Para las ruedas su objetivo es permitir el trabajo en pendiente, y la segadora se utilizará para el corte.

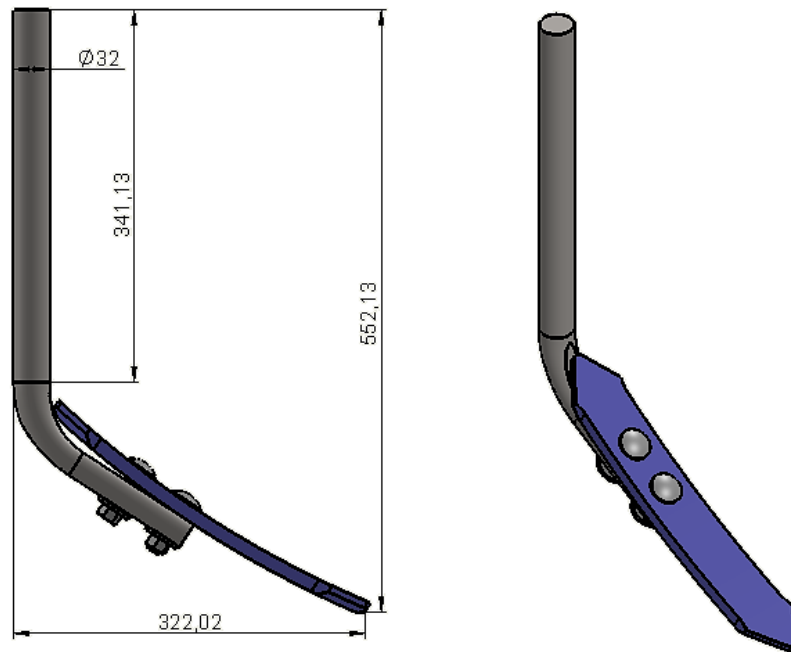
6.2.1 *Arado de cincel.* Procedimiento del análisis se basará en las secciones del método de elementos finitos.

6.2.1.1 *Brazo de arado.* Como diseño previo, se obtendrá el análisis de los brazos de arado que son los principales elementos que soportan la carga.

a) *Pre-proceso*

Datos del problema. Los brazos de arado al ser libres en un extremo y sujetas en el otro, se ajustan a un modelo de estudio de una viga en voladizo, cuyo punto más crítico será cuando la carga se aplique en el punto más distante del apoyo fijo (empotramiento).

Figura 53. Dimensiones generales del brazo de arado



Fuente: Herramienta CAD

Cálculo de la fuerza resistiva del suelo. Como primer parámetro de diseño, es el cálculo de la fuerza resistiva del suelo que resulta como reacción al paso de la herramienta de corte del arado, esta fuerza depende del tipo del suelo y las dimensiones de la herramienta, considerando que nuestro arado es una herramienta de diente delgado con inclinación hacia delante.

Utilizando la ecuación 1:

$$F = A \times C$$

C toma un valor de $9,0 \frac{KN}{cm^2}$ (valor tomado de la Tabla 2) que es el valor máximo para arado, correspondiendo para suelos de tipo arcilloso.

El área es la correspondiente al área de corte que serán la profundidad de trabajo y el ancho de la cuchilla de corte, así tenemos:

$$A = Profundidad\ de\ trabajo * Ancho$$

$$A = (30\ cm) * (5\ cm)$$

$$A = 150\ cm^2$$

Reemplazando en la ecuación de la fuerza

$$F = A \times C$$

$$F = 150 \text{ cm}^2 \times 9.7 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$F = 1455 \text{ N}$$

Una vez determinada la carga que será aplicada en cada una de las cuchillas, se comprobará la resistencia de la misma.

Selección del Material. Para la selección del material se tomaron aspectos como resistencia, disponibilidad en el mercado y costo.

Resistencia. El material utilizado debe ser metálico, y más específico un acero al carbono debido a que no existen condiciones excesivas de desgaste, o ambientes con fuertes agentes corrosivos que requieran aceros con elementos de aleación.

Los aceros al carbono cuentan con valores de resistencia a la fluencia (S_y) desde 180 MPa hasta 800 MPa, proporcionando un alto grado de resistencia dependiendo de la necesidad presentada en el campo.

Disponibilidad en el mercado. El acero al carbono es uno de los aceros que se puede encontrar con facilidad en el mercado local, dentro de estos aceros al carbono podemos encontrar dos tipos de aceros, los estructurales y aceros de construcción.

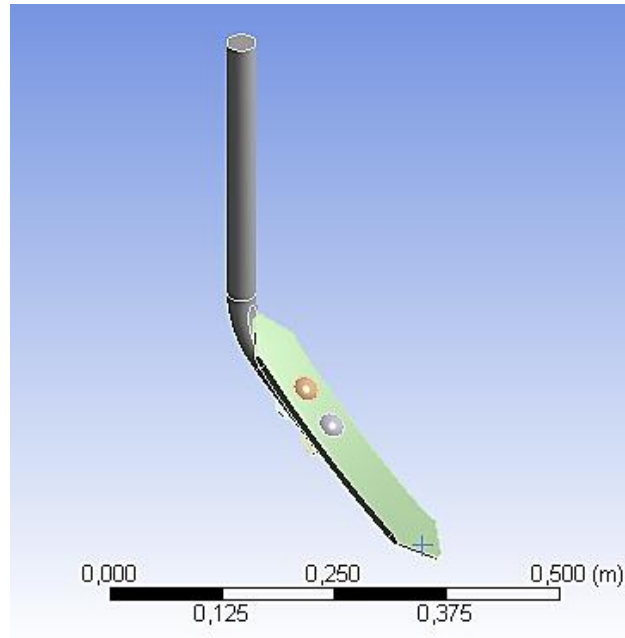
Los aceros estructurales se encuentran disponibles hasta un máximo valor de 24,5 mm de diámetro, al contrario de los aceros de construcción que llegan hasta valores dimensionales de 32 mm de diámetro.

Costo. Los aceros al carbono son los aceros más económicos que podemos encontrar en mercado.

El acero más apropiado para los brazos de arado es un acero de construcción (varilla lisa), debido especialmente que en mercado existe varilla con diámetros por encima de una pulgada de diámetro, mientras que los demás elementos se construirán en acero estructural A36.

b) *Solución de análisis.* Para la solución lo primero es agregar el modelo al entorno del MEF.

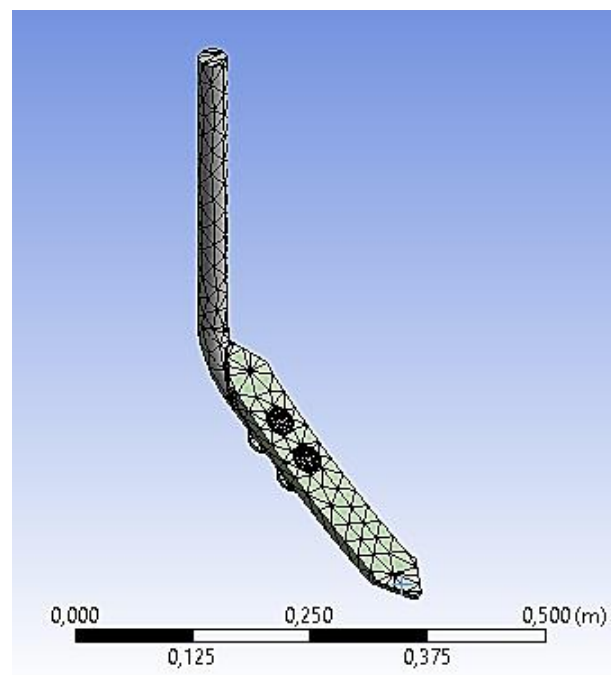
Figura 54. Brazo de arado en entorno de análisis



Fuente: Herramienta CAE

El mallado se lo utilizará con la opción automática.

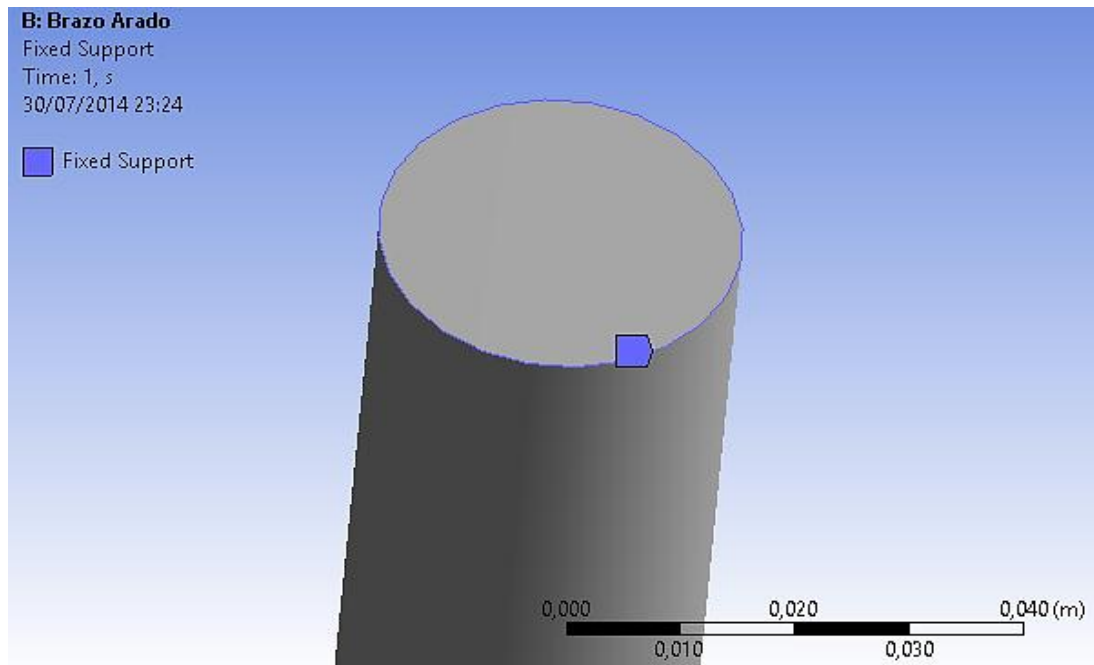
Figura 55. Brazo de arado mallado para análisis



Fuente: Herramienta CAE

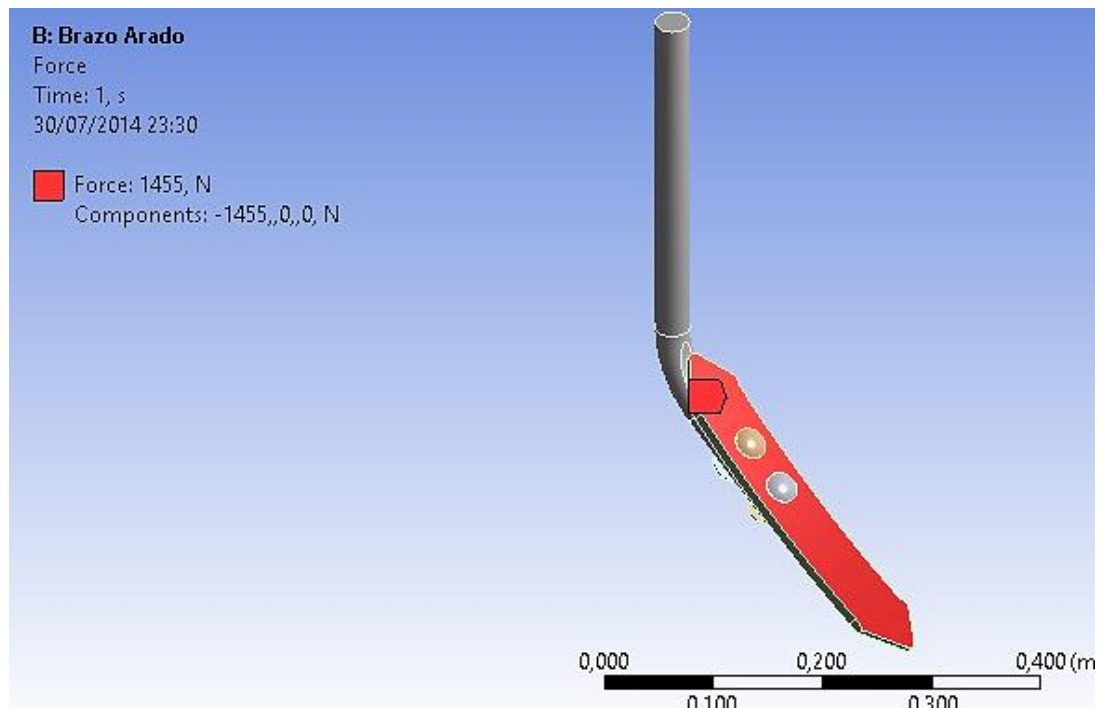
Como siguiente paso, se hace necesaria la definición de parámetros tales como fuerzas actuantes y puntos de apoyo.

Figura 56. Asignación de punto de empotramiento



Fuente: Herramienta CAE

Figura 57. Asignación de la fuerza en la reja de corte

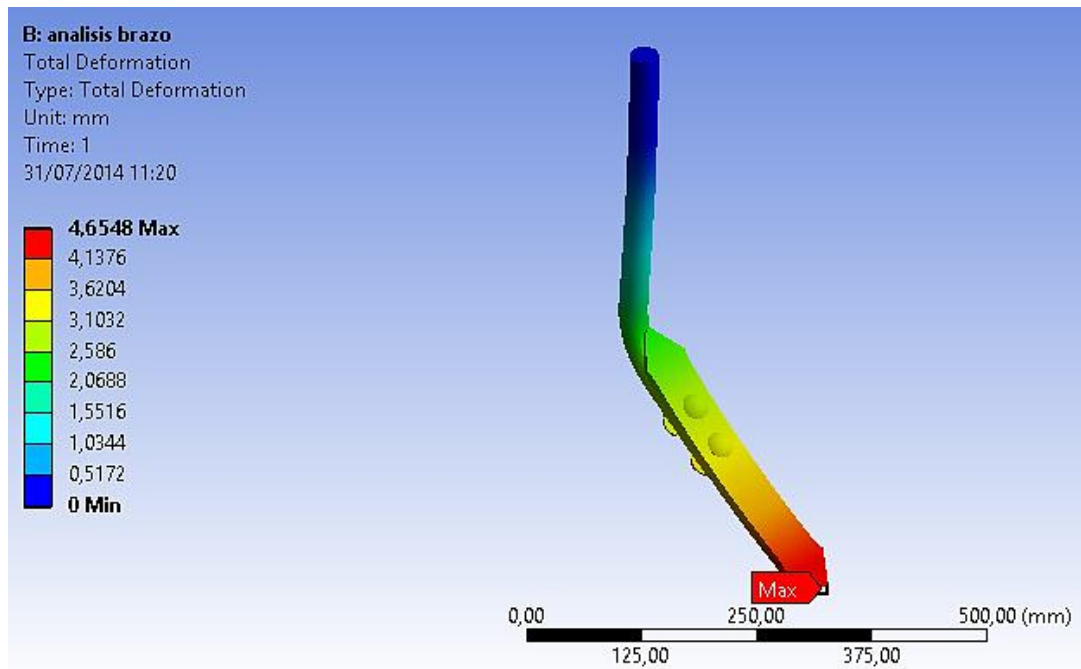


Fuente: Herramienta CAE

c) Post-Proceso

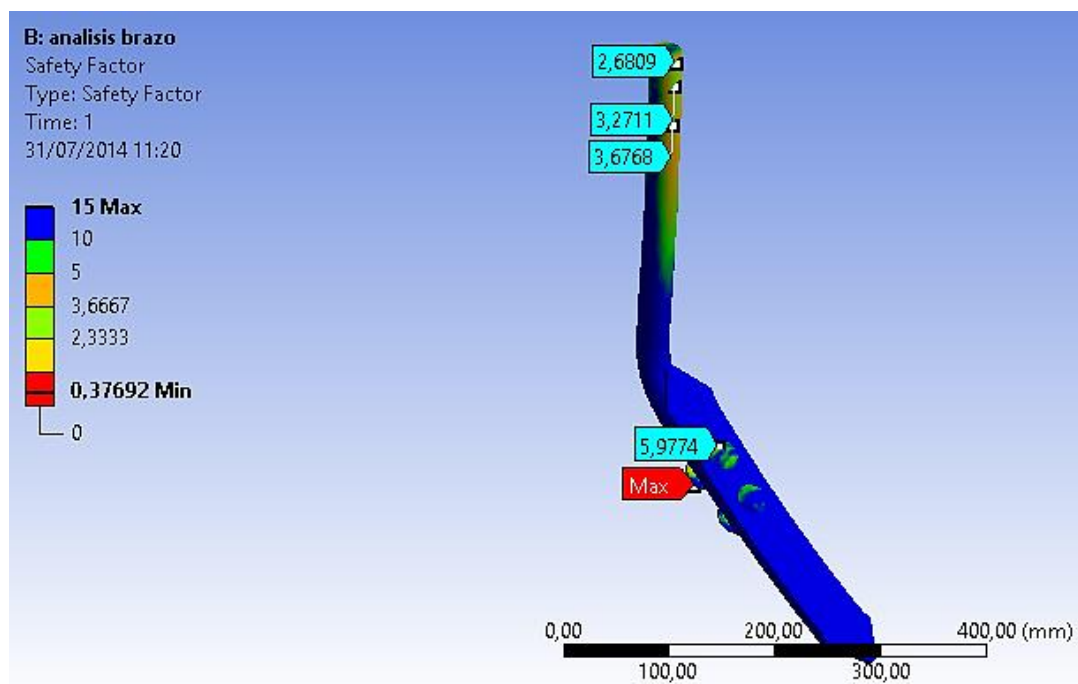
Resultados: Dos serán los principales obtenidos como resultados que nos ayudarán a evaluar el diseño, estos son: el coeficiente de seguridad y la deformación máxima.

Figura 58. Deformación máxima (arado de cincel)



Fuente: Herramienta CAE

Figura 59. Coeficientes de seguridad (arado de cincel)



Fuente: Herramienta CAE

En la Figura 57 se muestra la deformación máxima producida, la misma que se encuentra en la reja de arado, su valor máximo de deformación es de 4,65 mm.

En el aspecto resistivo, el brazo presenta gran desempeño en el análisis de elementos finitos, debido a que posee altos factores de seguridad que garantizan su buen desempeño sin que se produzca deformaciones plásticas y peor aún el colapso de algún elemento.

Los valores de factor de seguridad se pueden apreciar en la Figura 58, que tienen un valor mínimo de 0,38, valor que no garantiza resistencia, sin embargo el punto donde se produce este efecto es en una arandela por lo que no implica mayor problema en el diseño.

6.2.1.2 Arado de Cincel completo.

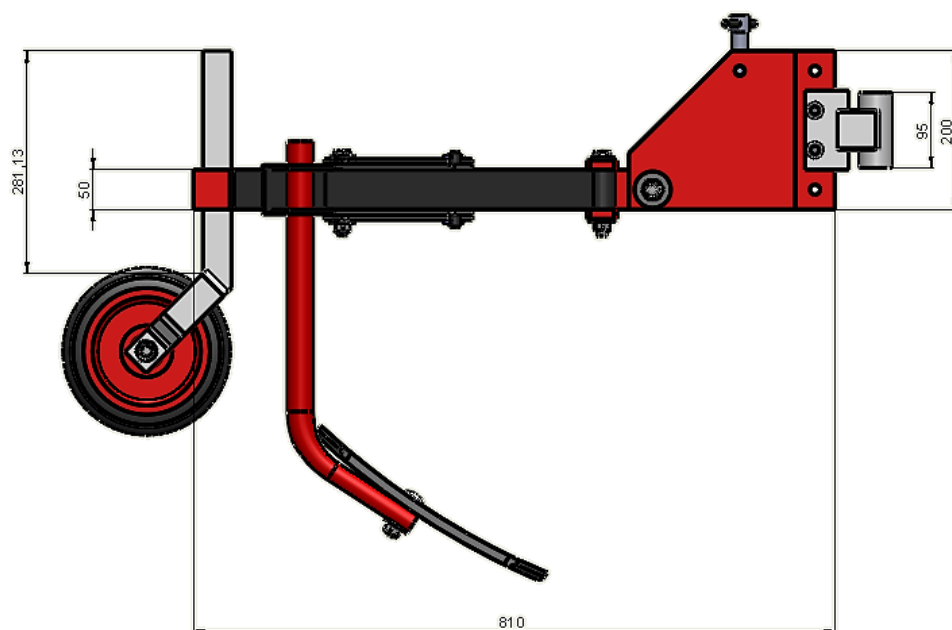
a) Pre-proceso

Datos del problema.

Una vez verificada la resistencia de los brazos de arado, es necesario analizar el arado completo, en donde se evidencia los efectos que produce las cargas que se generan debido a la resistencia que presenta el suelo.

Las dimensiones generales del arado son:

Figura 60. Dimensiones generales de arado de cincel



Fuente: Herramienta CAD

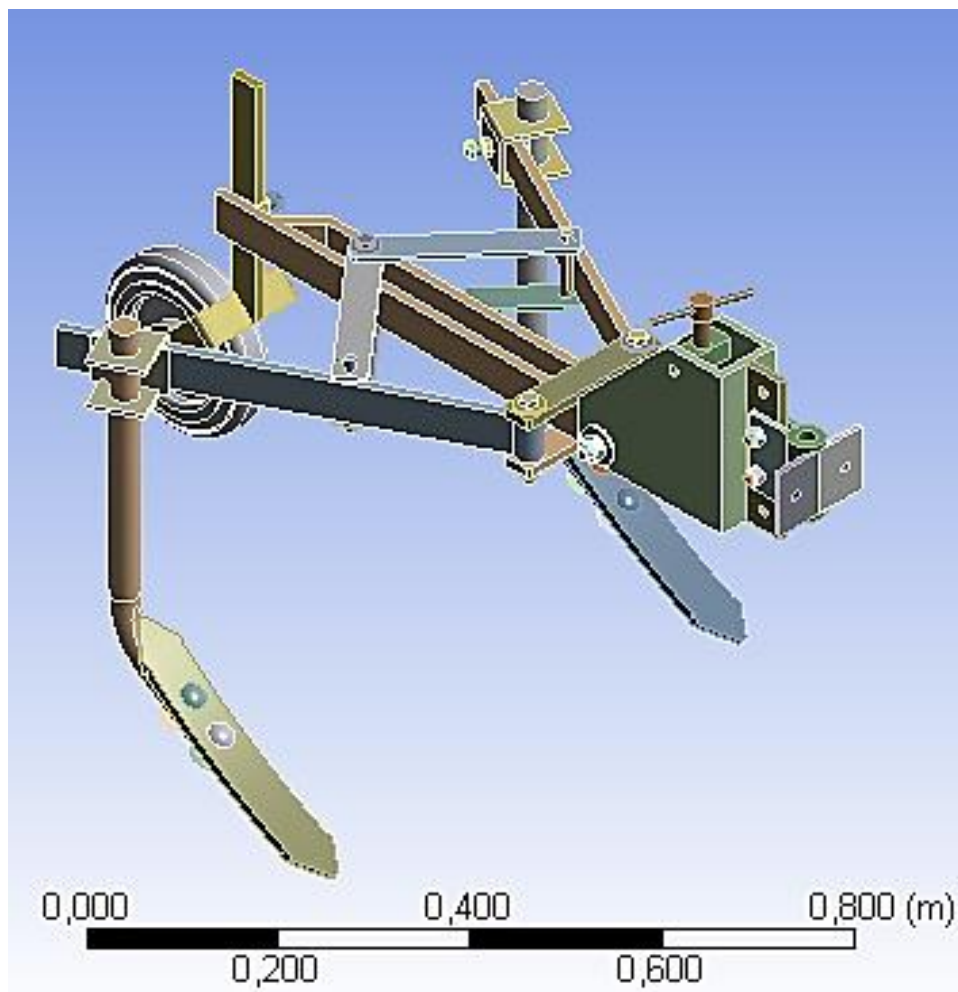
Fuerzas presentes en el arado. Las fuerzas presentes, son las fuerzas resistivas del suelo agrícola, es decir las mismas fuerzas que se emplearon en el análisis de los brazos de arado.

Selección de material. Para la construcción del arado se empleará acero estructural, debido a su disponibilidad en mercado y las buenas propiedades mecánicas que este material presenta, solamente pernos y barras de arado se encontrarán contruidos en materiales diferentes.

El arado contará con la aplicación de dos fuerzas, una en cada brazo de arado mientras que se encontrará sujeto al motocultor por medio del respectivo acople.

b) *Solución de análisis.*

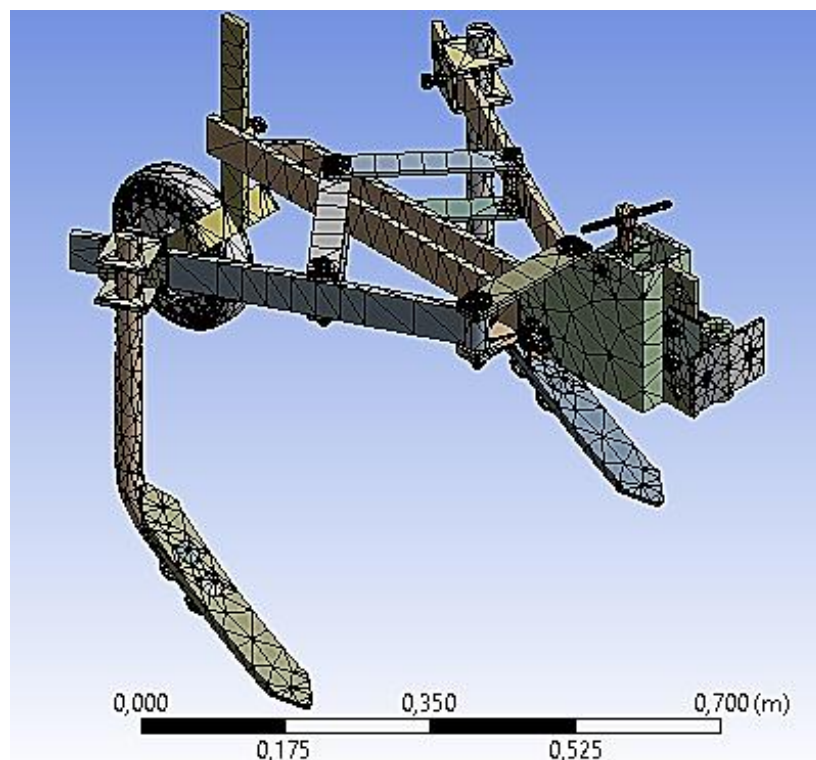
Figura 61. Arado en entorno de análisis



Fuente: Herramienta CAE

Mallado del arado de cincel

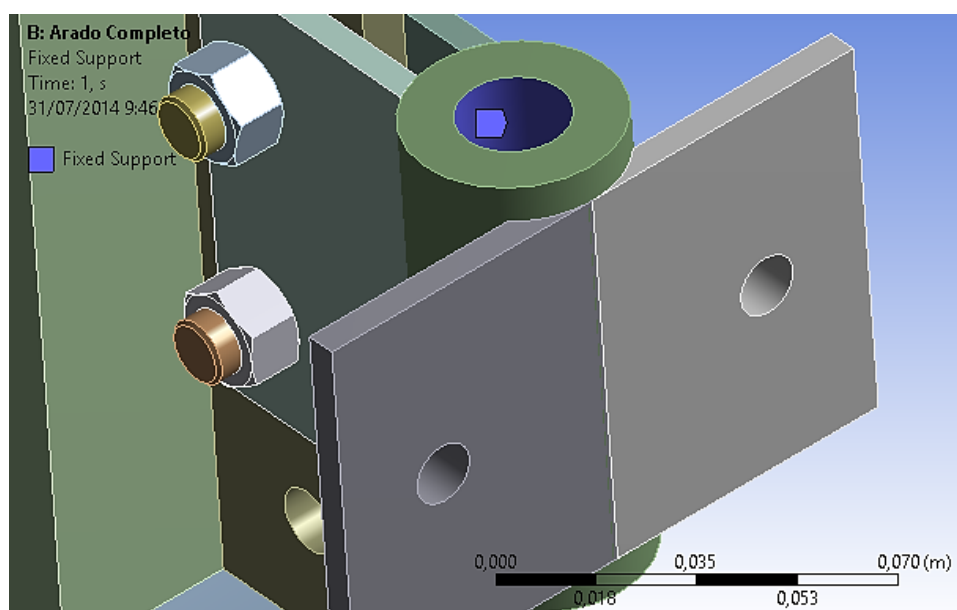
Figura 62. Mallado de arado de cincel



Fuente: Herramienta CAE

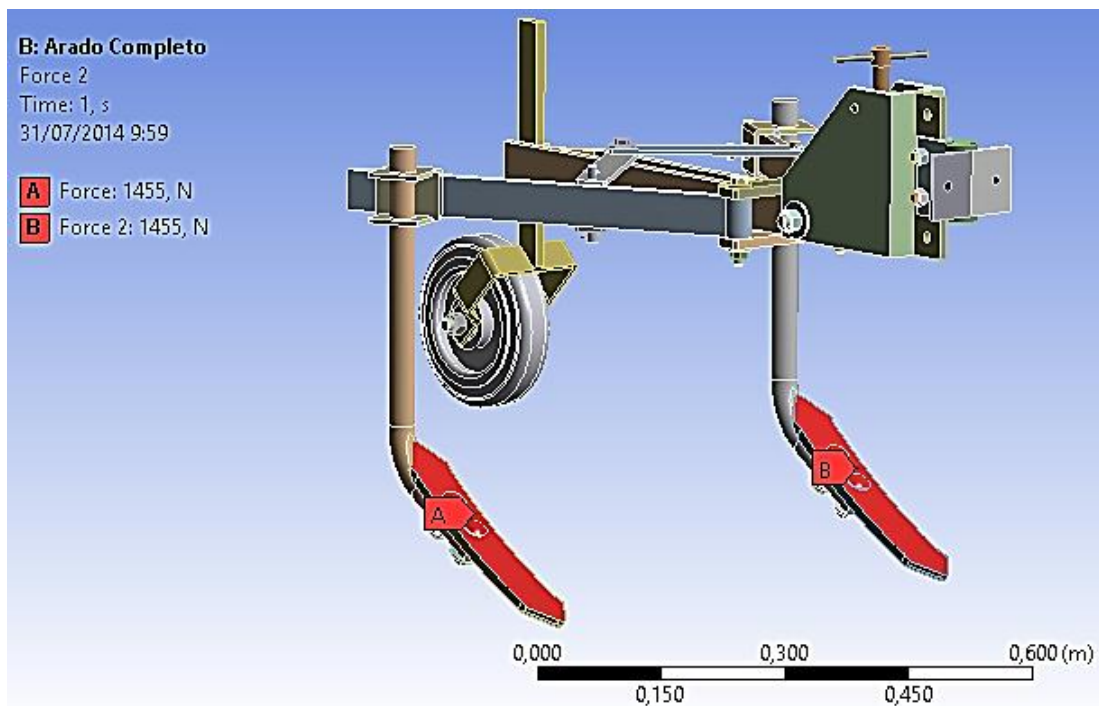
Asignación de condiciones de contorno.

Figura 63. Punto de empotramiento en el arado



Fuente: Herramienta CAE

Figura 64. Fuerzas actuantes en el arado

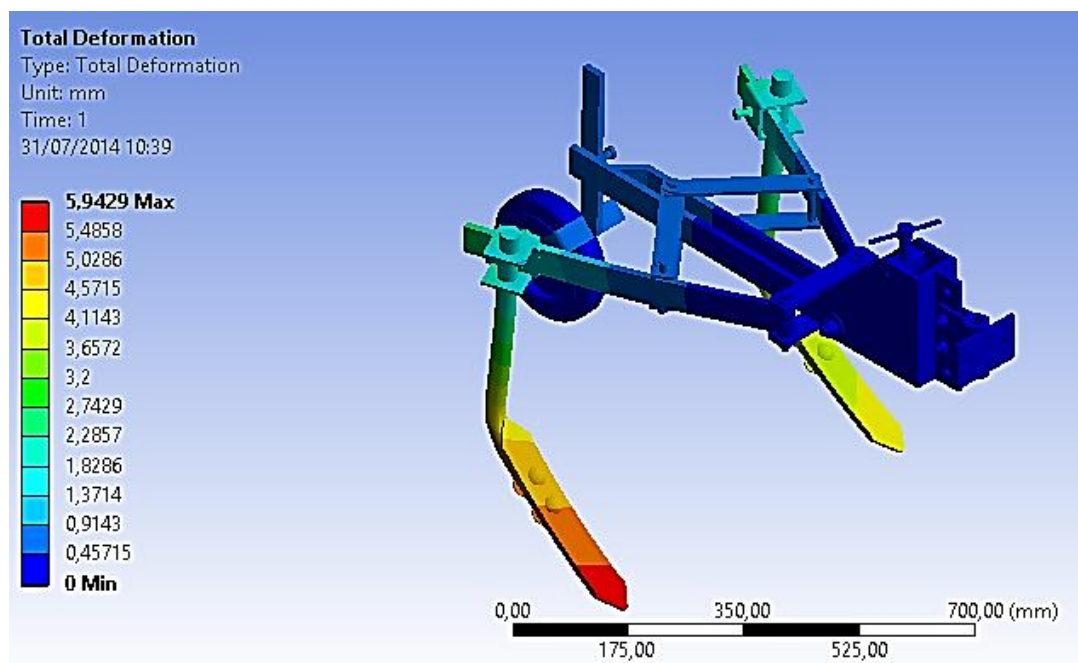


Fuente: Herramienta CAE

c) *Post-Proceso*

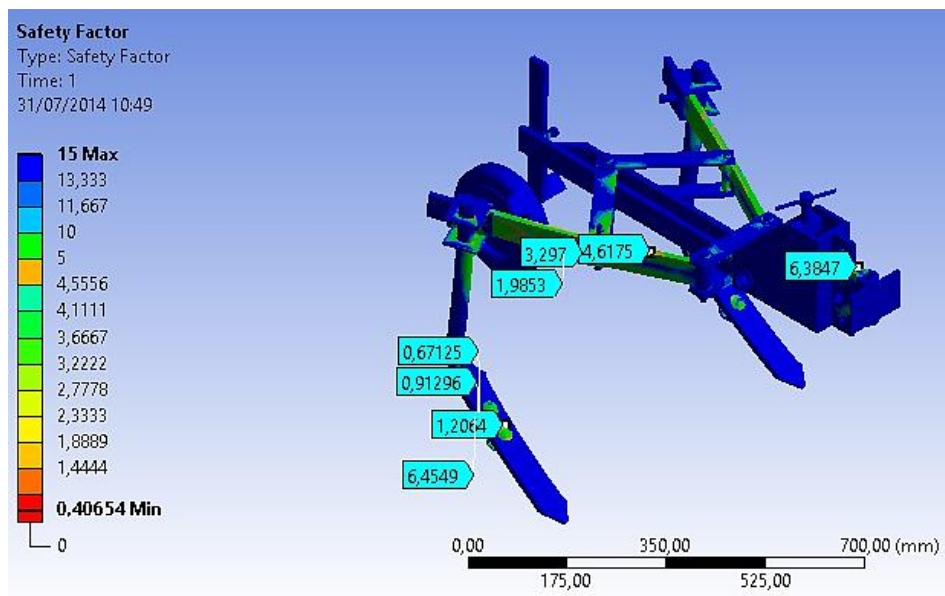
Resultados obtenidos del MEF

Figura 65. Deformación máxima del arado de cincel



Fuente: Herramienta CAE

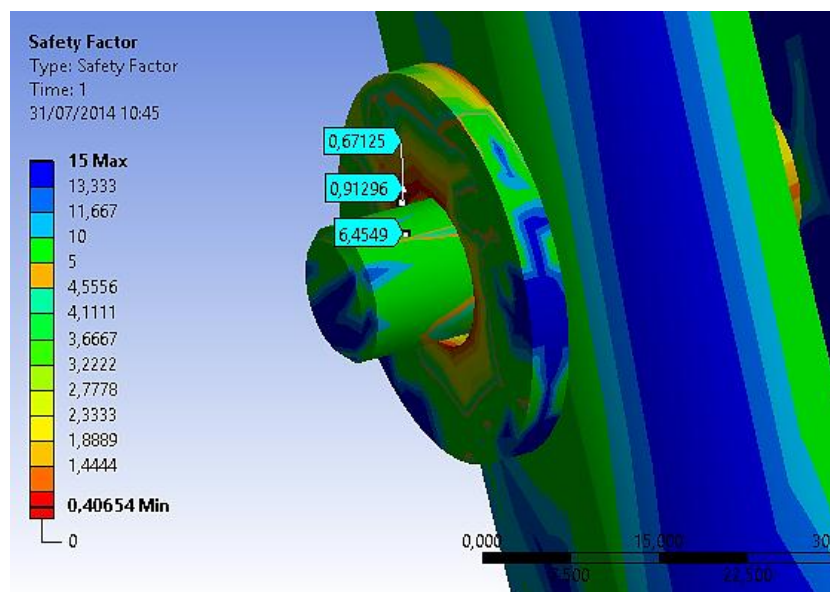
Figura 66. Coeficientes de seguridad del arado de cincel



Fuente: Herramienta CAE

Análisis de Resultados. Claramente se muestra datos aceptables del estudio del arado de cincel, se produce una deformación máxima de 5,94 mm en los brazos de arado, y coeficientes de seguridad aceptables, en la Figura 58 se muestran los valores del coeficiente de seguridad. En el análisis muestra un valor mínimo de 0,4 de coeficiente de seguridad, el mismo que está por debajo de un valor aceptable, para lo cual buscaremos la zona donde se encuentra este valor para determinar la gravedad de la zona afectada.

Figura 67. Zona con menor valor de coeficiente de seguridad



Fuente: Herramienta CAE

Como se puede visualizar en el Figura 66, el mínimo valor de coeficiente de seguridad se genera en una pequeña zona en la arandela que une la reja de arado con el brazo, y que debido a su reducido tamaño no se constituye en una zona que generará problemas, por lo que no necesita un rediseño.

6.2.2 Remolque.

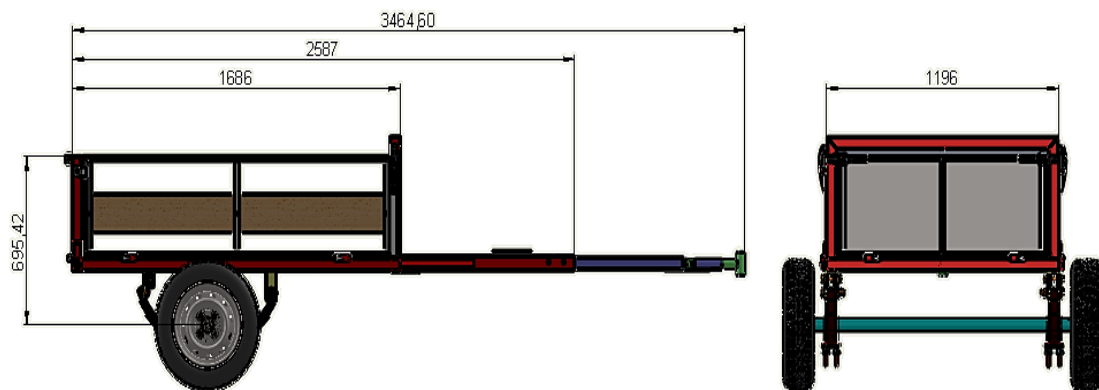
6.2.2.1 Estructura de remolque

a) *Pre-proceso.* La estructura es el principal elemento que soporta el peso al cual está sometido el remolque, incluyendo la carga de trabajo como el peso mismo del remolque a construir.

Datos del problema. La estructura del remolque posee dos puntos fijos que servirán de apoyo, los mismo que se encuentran en los neumáticos, adicionalmente de su punto de articulación con el motocultor que se constituirá en otro punto de apoyo.

Las dimensiones generales del remolque son:

Figura 68. Dimensiones generales del remolque



Fuente: Herramienta CAD

Cálculo de la carga de trabajo.

El remolque cuenta con un sistema de suspensión con hoja de ballestas ya proporcionado por el cliente, por lo que se iniciará determinando la carga máxima que soportarán estos elementos.

Mediante ecuación 2 y los datos entregados por el fabricante podremos determinar el esfuerzo máximo admisible para el cual ha sido diseñado el paquete de resortes, es así que el fabricante indica que el paquete de codificación 235822V posee una carga máxima de 1,5 Toneladas que cuenta con 7 hojas de espesor constante, siendo dos de estas hojas principales y dos hojas de refuerzo. El espesor de la hoja es de 8mm con un ancho de 45mm, con una distancia entre centros de 650 mm.

$$P = n \left(\frac{bh^2}{6} \right) \frac{\sigma_{admisible}}{L}$$

$$\sigma_{admisible} = \frac{6PL}{nbh^2}$$

$$\sigma_{admisible} = \frac{6(14700N)(0,65m)}{7(0,045m)(0,008m)^2}$$

$$\sigma_{admisible} = 2843,75 \text{ Mpa}$$

Debido a su excesiva rigidez, se procederá a disminuir el número de hojas de resorte a 4 hojas, siendo dos de estas hojas principales y dos hojas de refuerzo.

Reemplazando los datos en la ecuación 2:

$$P = 4 \left(\frac{(0,045m)(0,008m)^2}{6} \right) \frac{2843750000 \text{ Pa}}{0,65m}$$

$$P = 8400 \text{ N}$$

Es necesario que a esta carga se le disminuya la carga muerta (peso del remolque) para poder determinar la carga misma con la que podremos diseñar el remolque. Mediante el modelado del remolque en un software de CAD podemos calcular las principales propiedades del mismo.

Figura 69. Propiedades del remolque

Propiedades de masa de 1 Remolque Definitivo analisis
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 88.52 kilogramos

Volumen = 46991.83 centímetros cúbicos

Área de superficie = 16935988.01 milímetros cuadrados

Fuente: Herramienta CAD

Utilizando ecuación 4:

$$Cd = P - C_m$$

$$Cd = 8400N - 88,52Kg \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$Cd = 7532 N$$

Selección del material.

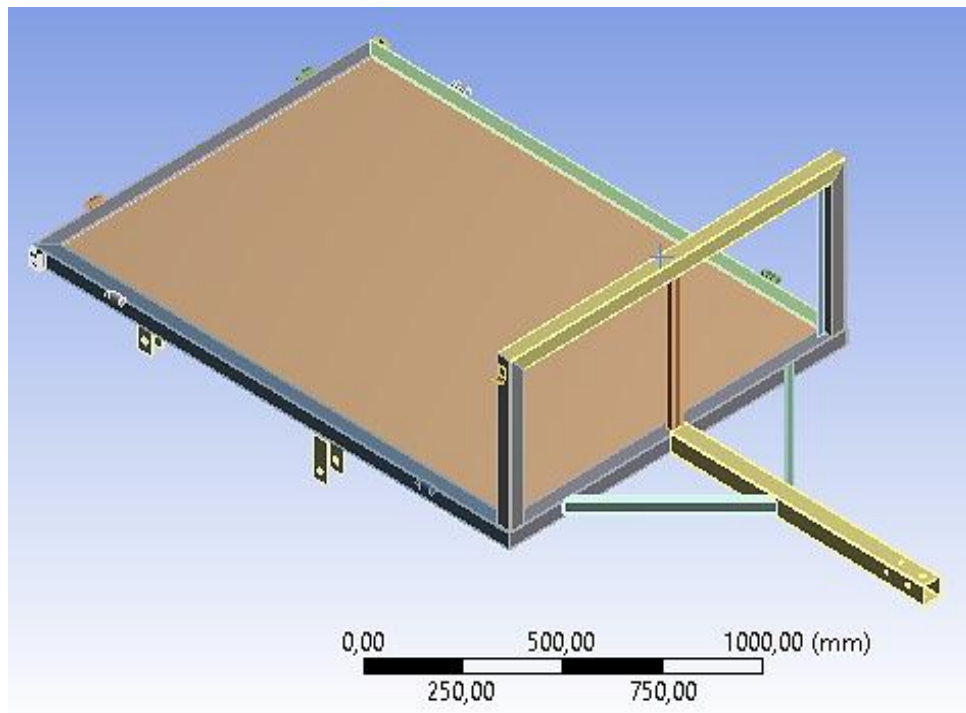
Resistencia. El material metálico que se debe emplear es un acero al carbono estructural, debido a que estos son los mejores materiales destinados a la construcción de estructuras, es decir se utilizará perfiles estructurales que garantizará su buen desempeño.

Disponibilidad en el mercado. Los aceros estructurales se encuentran con gran facilidad en el mercado local, se lo encuentra en forma de platinas, tubos circulares cuadrados y rectangulares, y en muchas otras formas más, facilitando las opciones de diseño.

Costo. Los aceros estructurales son de bajo costo con respecto a otros materiales.

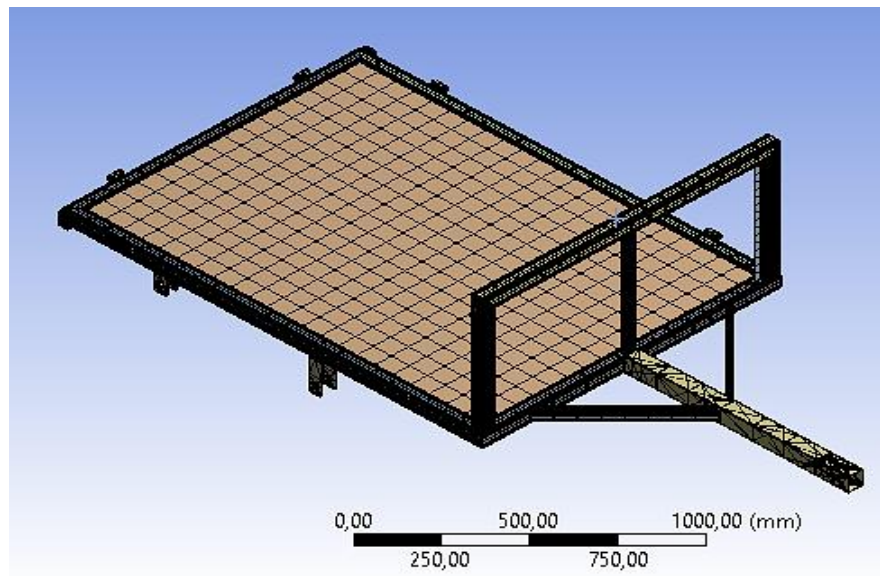
c) *Solución de análisis.*

Figura 70. Estructura en entorno de análisis de MEF



Fuente: Herramienta CAE

Figura 71. Mallado de la estructura del remolque

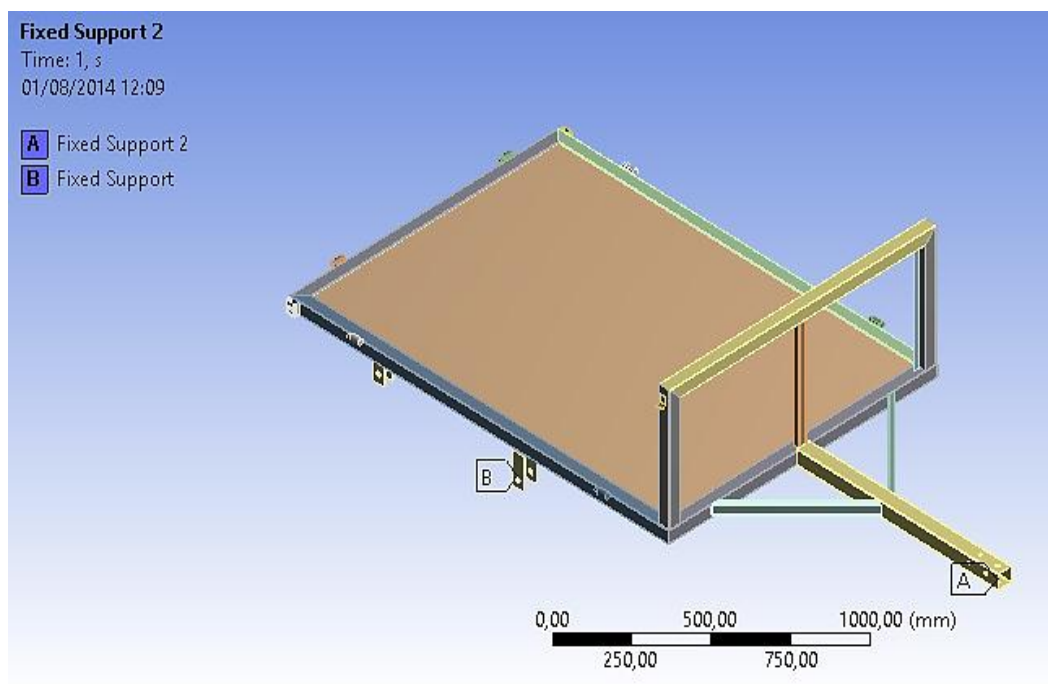


Fuente: Herramienta CAE

Parámetros de frontera.

La estructura se encuentra sujeta a los neumáticos constituyéndose en puntos de apoyo, adicionalmente, en el punto de acople con el motocultor se constituirá en otro punto de apoyo.

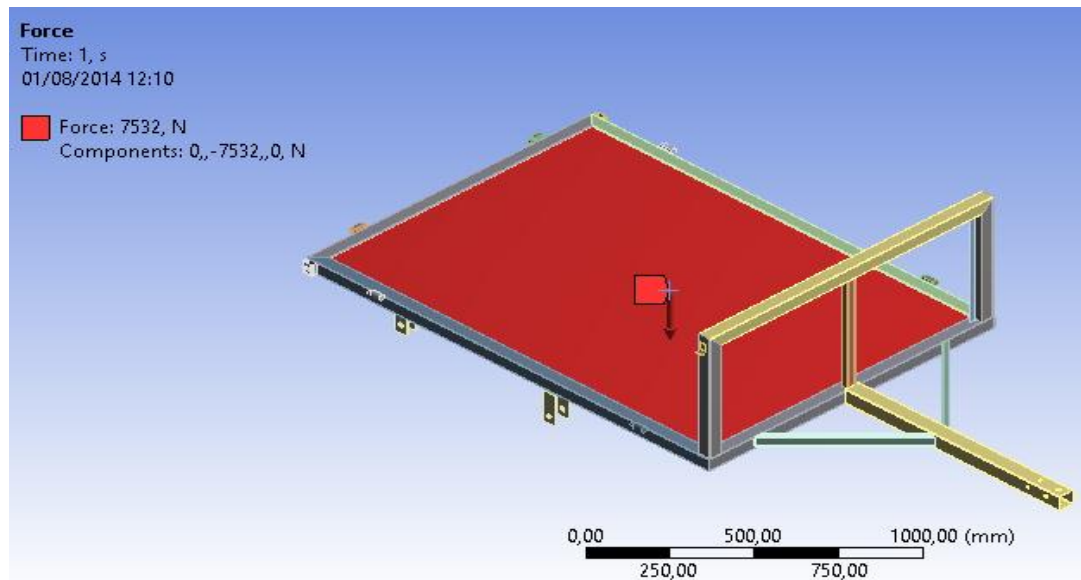
Figura 72. Puntos de apoyo del remolque



Fuente: Herramienta CAE

Principalmente existirá una sola carga de trabajo, que se aplica en la superficie del remolque

Figura 73. Carga aplicada en el remolque

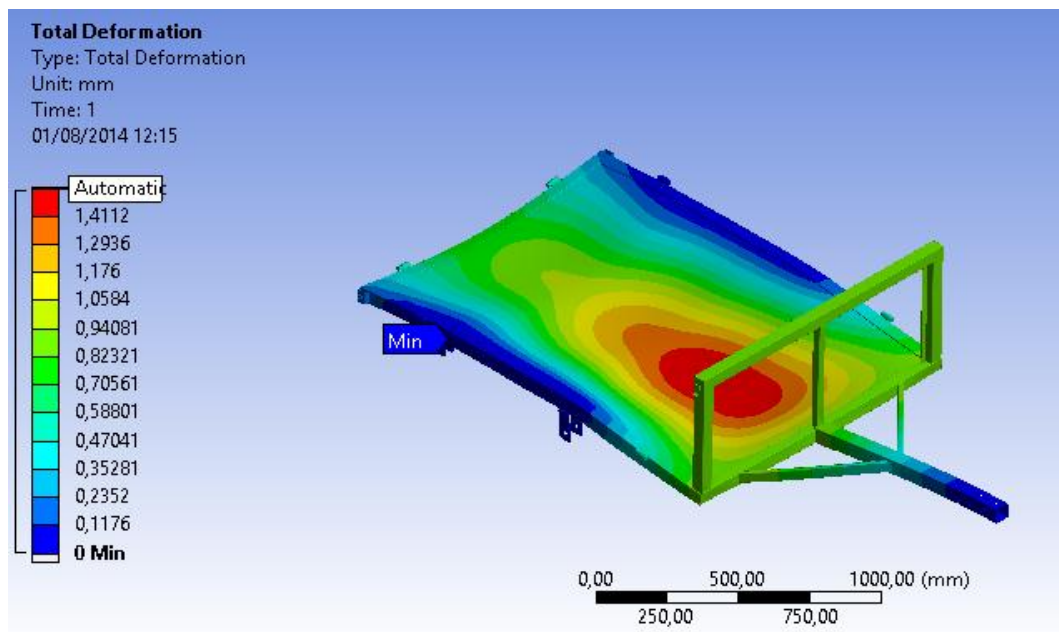


Fuente: Autores

c) *Post-proceso*

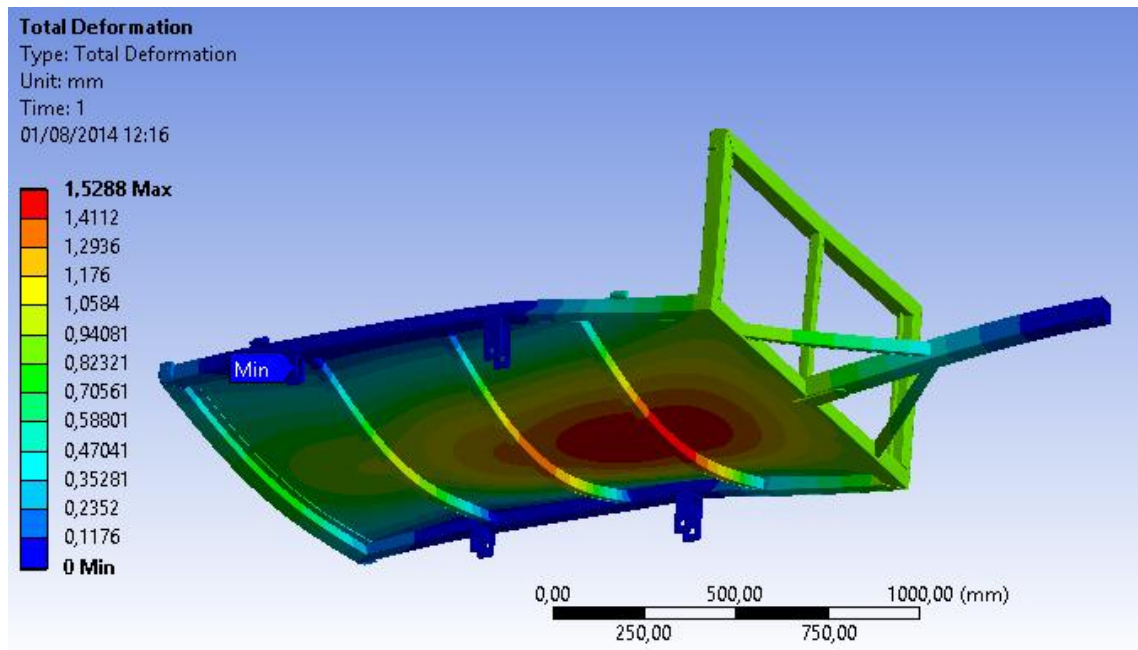
Análisis de Resultados.

Figura 74. Deformación máxima



Fuente: Herramienta CAE

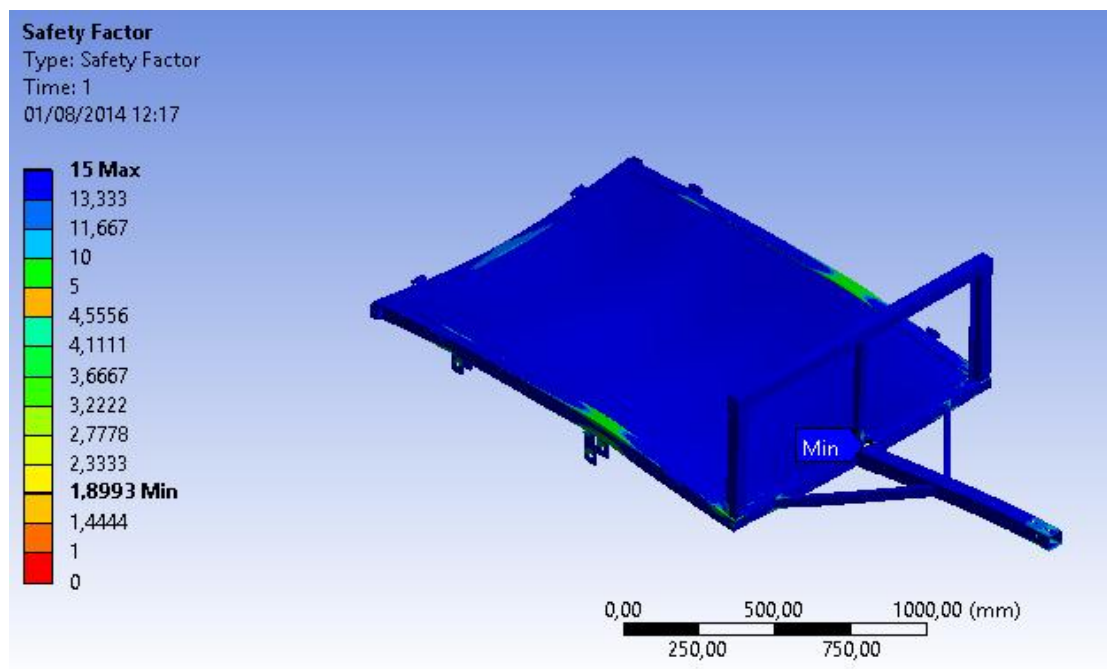
Figura 75. Deformación máxima



Fuente: Herramienta CAE

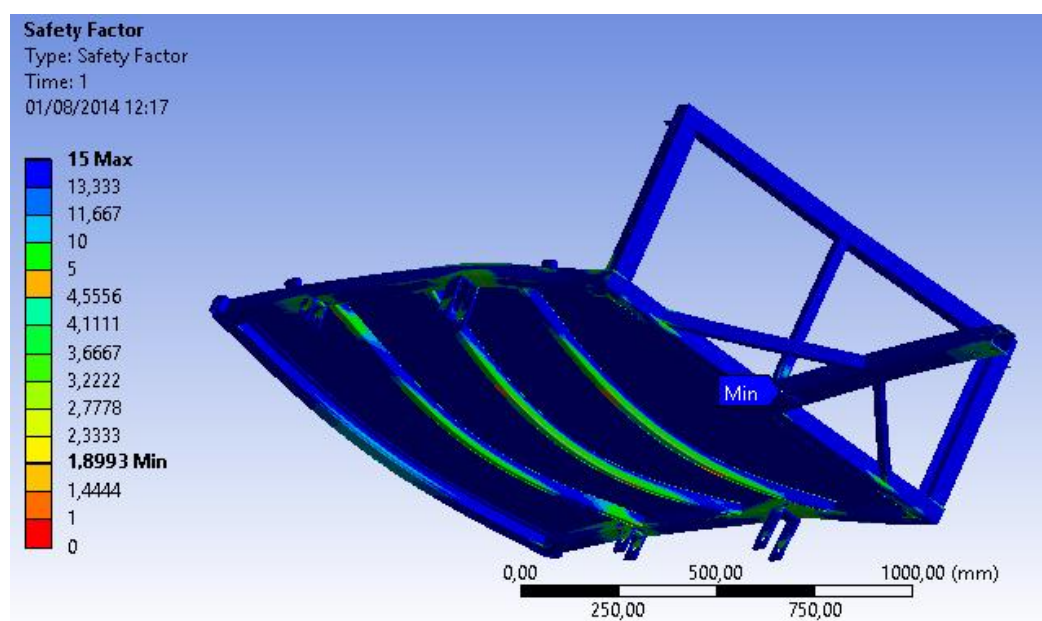
La deformación máxima se genera en el centro del remolque debido a la carga, la deformación máxima es de 1,53 mm siendo una deformación aceptable. La estructura muestra confiabilidad y alta resistencia a la carga de trabajo.

Figura 76. Factor de seguridad



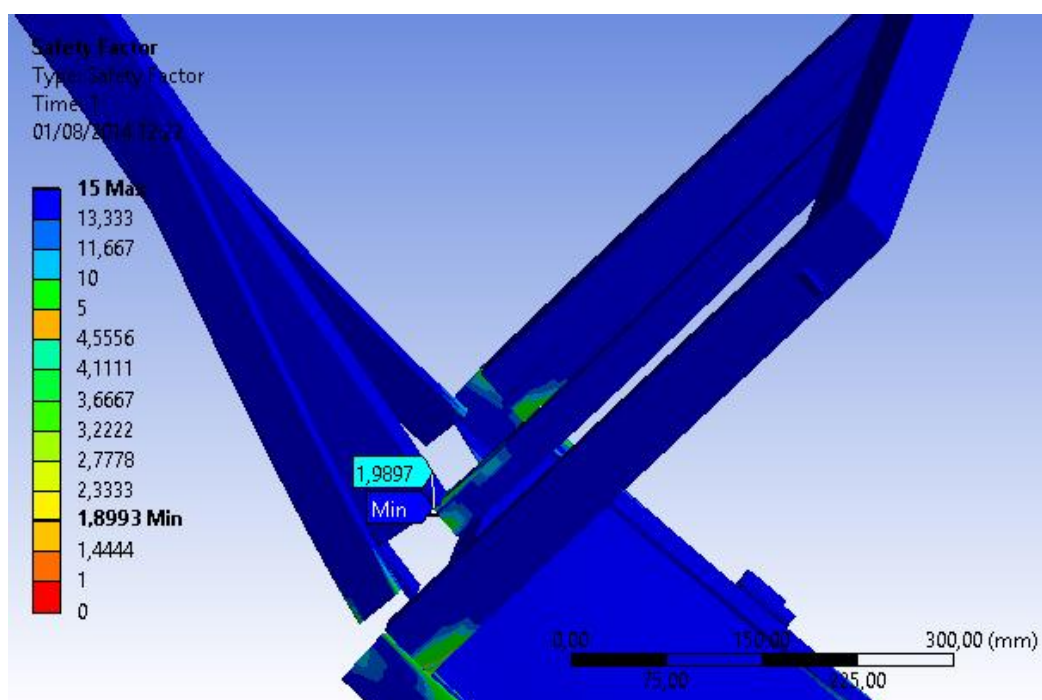
Fuente: Herramienta CAE

Figura 77. Factor de seguridad



Fuente: Herramienta CAE

Figura 78. Localización del mínimo valor de coeficiente de seguridad



Fuente: Herramienta CAE

En la estructura se verifica un valor mínimo de factor de seguridad de 1,9 que se produce en el refuerzo de la barra de tiro, mientras que en la estructura de carga, cuenta con un valor medio de 4 en coeficiente de seguridad, garantizando el buen desempeño del mismo.

6.2.2.2 Barra de Tiro

a) *Pre-proceso.* La barra de tiro es la parte del elemento que transmite la fuerza y potencia proporcionada desde motocultor al remolque, esta es la razón que su gran importancia, la barra de tiro está sometida a una fuerza traccional y a una fuerza que genera flexión, obligando su estudio en estos dos campos.

Datos del problema

El acople está constituido por tres partes, un tubo cuadrado de 60 mm, un tubo cuadrado de 50mm y un acople que permite la libertad de movimiento en dos direcciones.

Cálculo de la fuerza de tiro (Fuerza traccional).

Primero determinaremos el coeficiente de resistencia al rodado con ecuación 6, tomando un valor de C_n de 15 que corresponde a suelos blandos en la Tabla 3

$$\psi = \frac{1.2}{C_n} + 0.04$$

$$\psi = \frac{1.2}{15} + 0.04$$

$$\psi = 0,12$$

Con el coeficiente de resistencia al rodado calculamos la resistencia al rodado con ecuación 5.

$$\psi = \frac{R}{Q}$$

$$R = \psi * Q$$

$$R = (0,12) * (7532N)$$

$$R = 903,84 N$$

Mediante la ecuación 7 calcularemos la fuerza de arrastre considerando que el remolque se encuentra horizontal, por lo que el ángulo de inclinación del remolque es de cero grados.

$$Ft = Cm \times \sin \beta + R$$

$$Ft = R$$

$$\therefore Ft = 903,84 N$$

Selección de material. Al igual que la estructura, la barra de tiro se fabricará en acero estructural pues resulta el material más apropiado.

Cálculo de la fuerza de flexión. Sobre la barra de tiro se ubica el asiento para el conductor, por lo que el peso mismo del asiento y del operador, generan una flexión en la barra. Empleando la ecuación 8 calcularemos el peso total del asiento y operador, asumiendo un valor de 300 Kg de masa.

$$P = m \times g$$

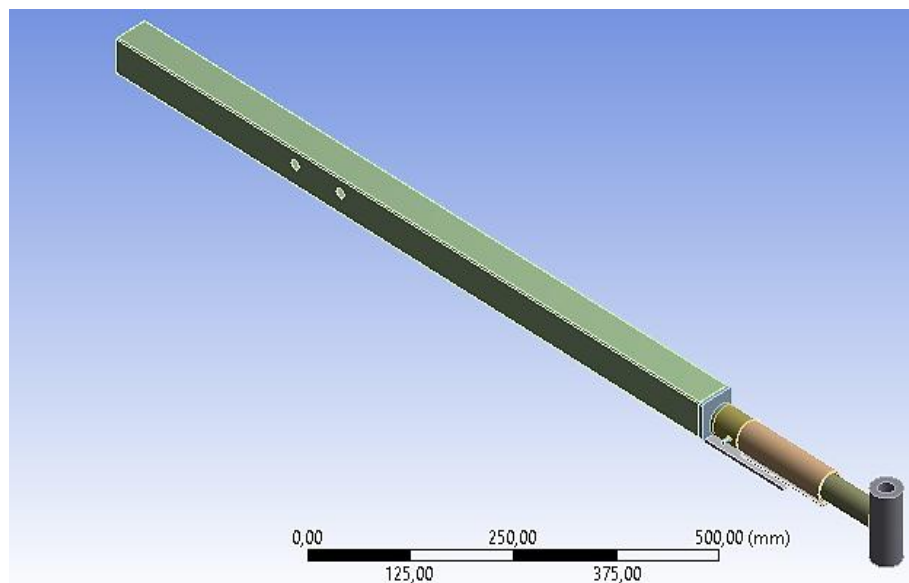
$$P = 300 \text{ Kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 2943 \text{ N}$$

b) Solución de análisis

En primer lugar se debe ingresar la barra de tiro al entorno del MEF

Figura 79. Barra de tiro en el ambiente de MEF

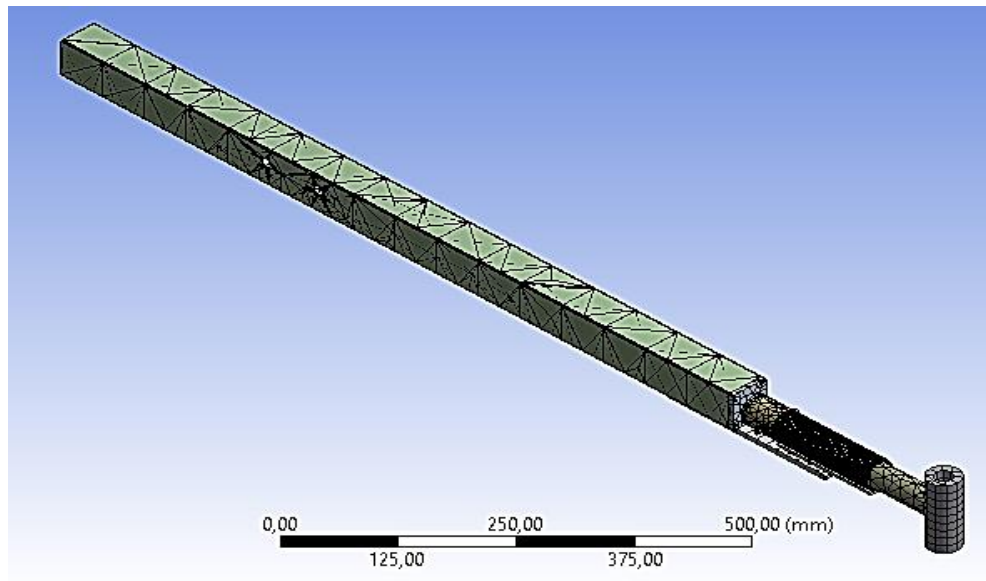


Fuente: Herramienta CAE

En la imagen se visualiza el acople en la barra de tiro, dicho acople cuenta con dos puntos de libertad disminuyendo de una sobrecarga en el acople, adicionalmente se muestra la barra de tiro construida en tubo cuadrado.

Mallado de la barra de tiro

Figura 80. Mallado de la barra de tiro

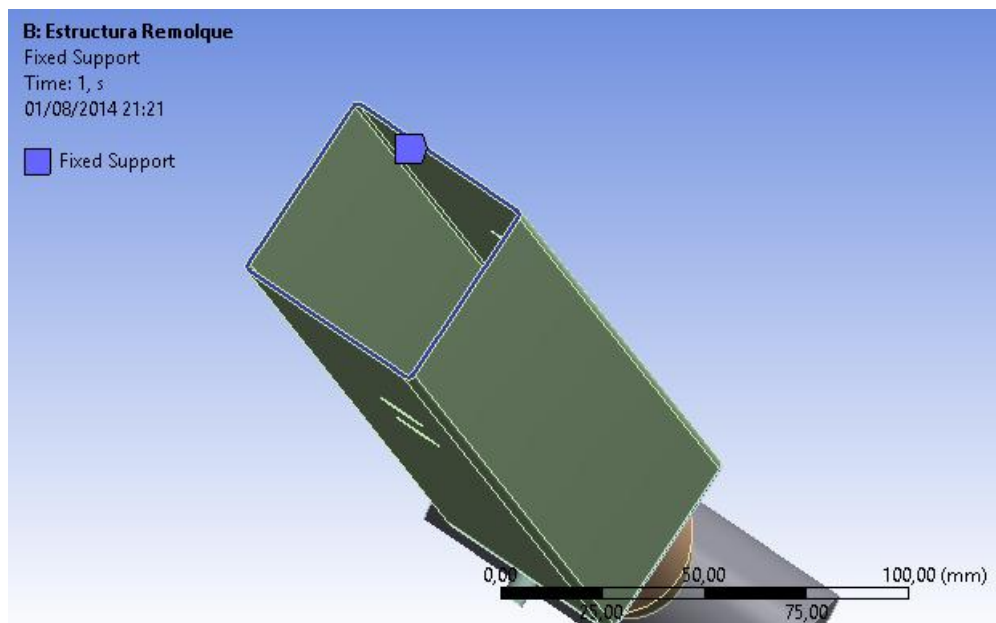


Fuente: Herramienta CAE

Asignación de condiciones de contorno (fuerza traccional)

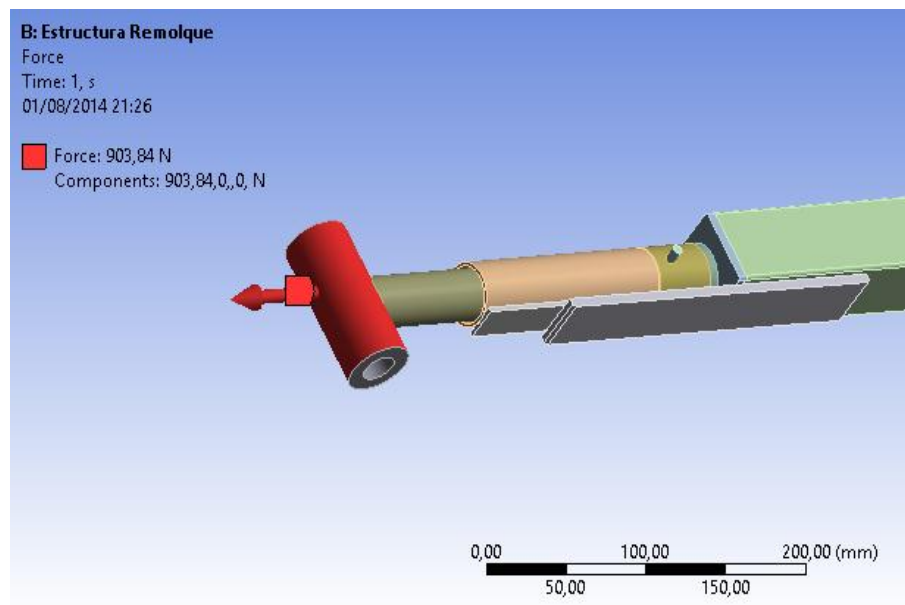
Ubicaremos un punto de empotramiento en la base de la barra de tiro que va sujeta a la estructura, mientras que el otro extremo quedará libre y será el punto de ubicación de la fuerza traccional.

Figura 81. Punto de soporte de la barra de arrastre



Fuente: Herramienta CAE

Figura 82. Ubicación de la fuerza

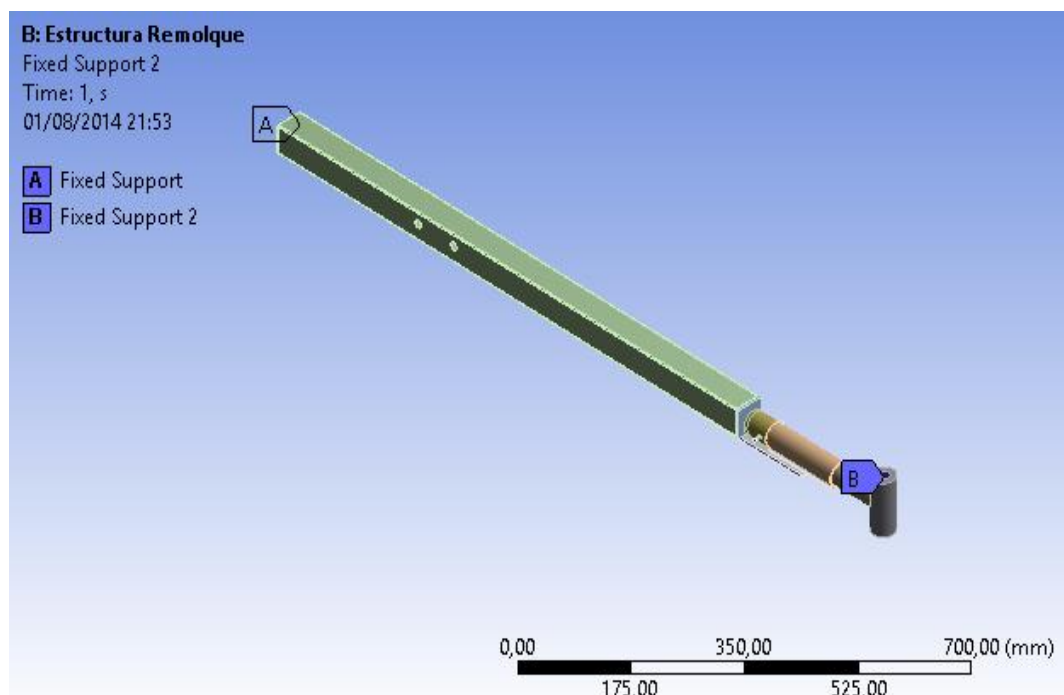


Fuente: Herramienta CAE

Asignación de condiciones de contorno (fuerza de flexión)

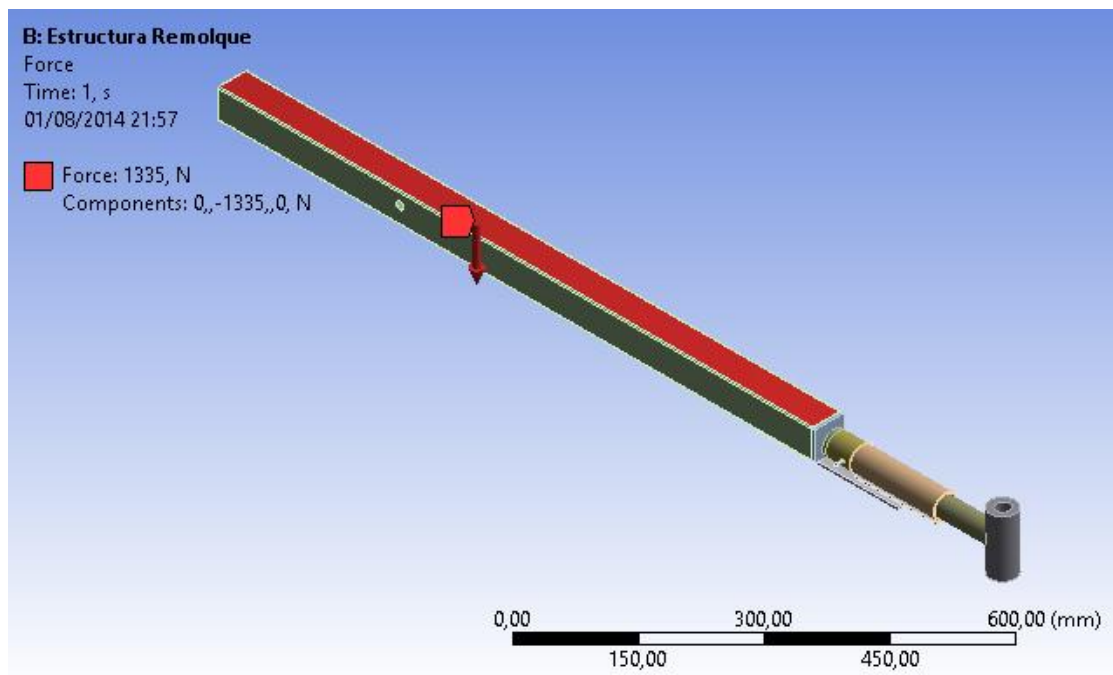
Ubicaremos dos puntos de empotramiento en cada uno de los dos extremos de la barra de tiro, es decir en la unión de la barra con la estructura y en el acople con motocultor.

Figura 83. Puntos fijos en la barra de tiro



Fuente: Herramienta CAE

Figura 84. Colocación de la fuerza



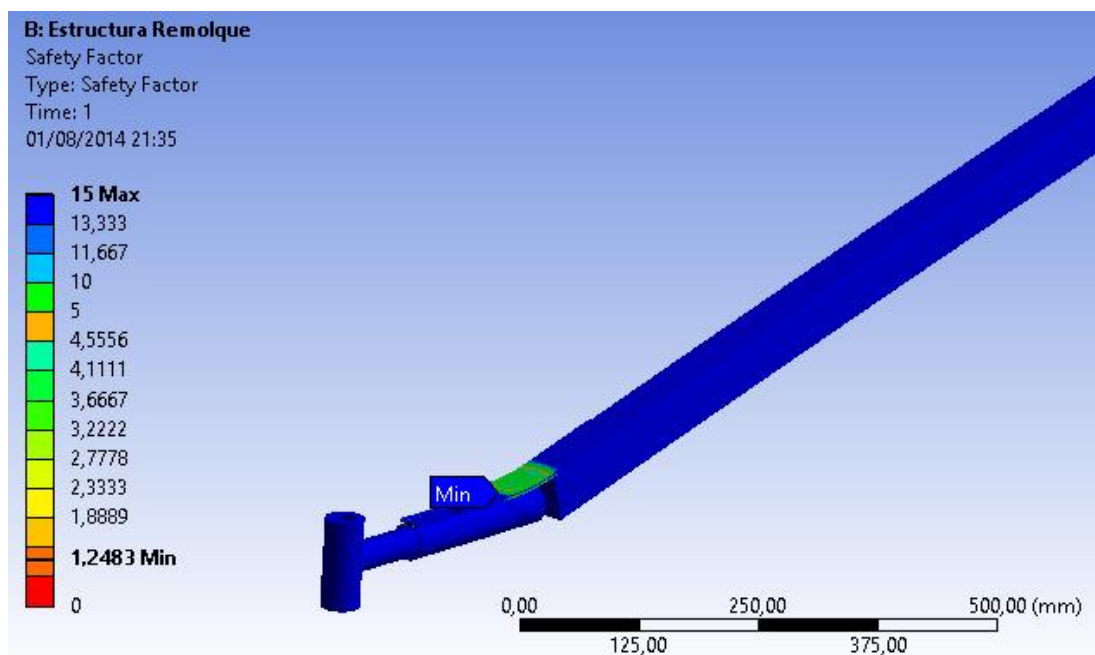
Fuente: Herramienta CAE

c) *Post-proceso*

Análisis de Resultados.

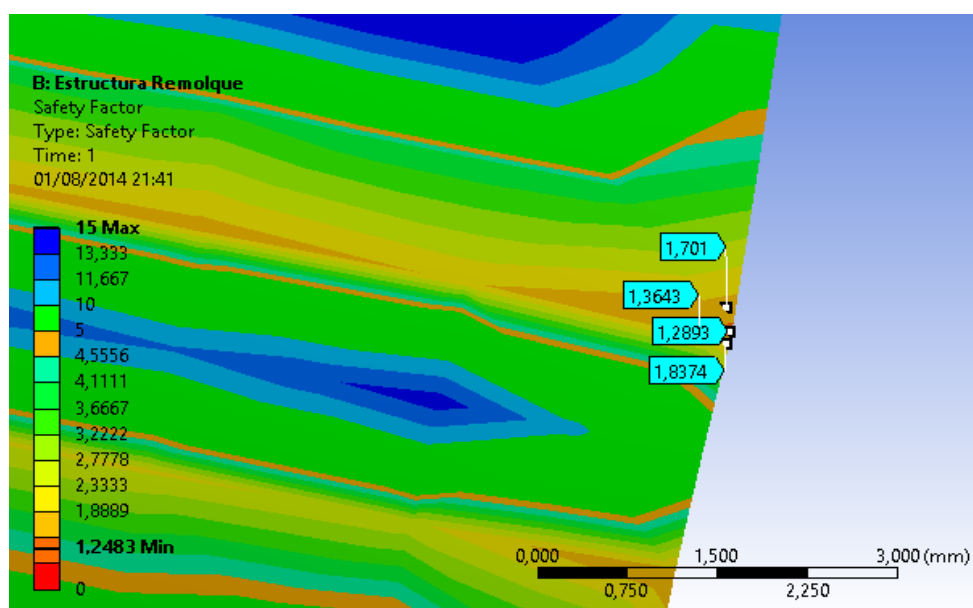
(Fuerza de tracción)

Figura 85. Máximo factor de seguridad



Fuente: Herramienta CAE

Figura 86. Acercamiento de la zona más afectada en la barra de tiro

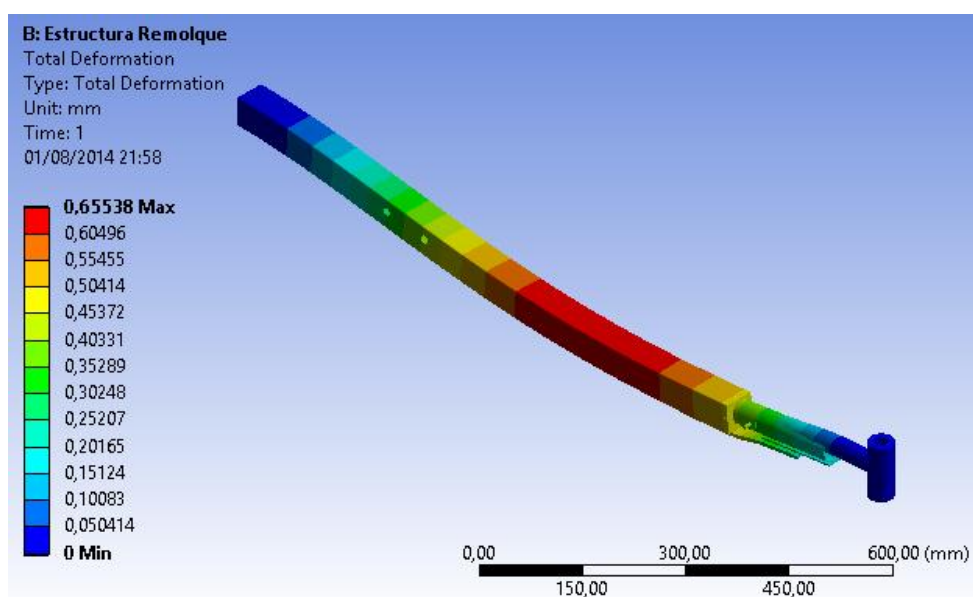


Fuente: Herramienta CAE

La zona que mayor esfuerzo recibe es en la zona de unión del acople con la barra de tiro, posee un valor mínimo de 1,25 que es un valor aceptable en el diseño sin requerir ajuste alguno.

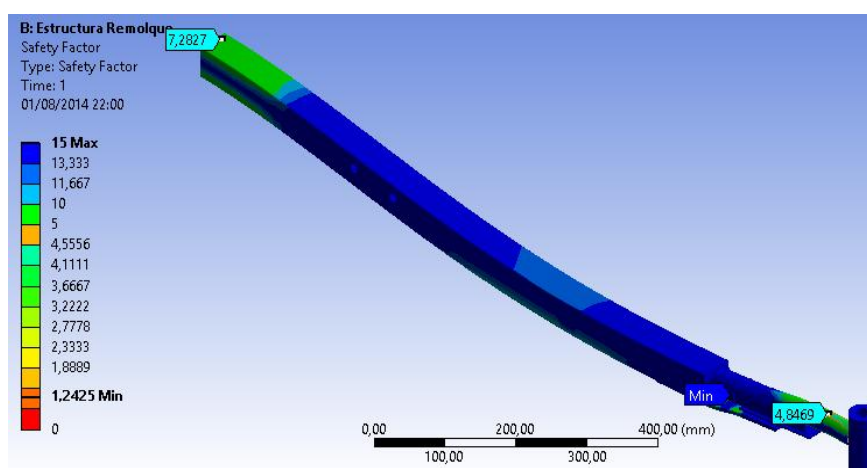
(Fuerza de flexión)

Figura 87. Deformación máxima en la barra de tiro



Fuente: Herramienta CAE

Figura 88. Valores de coeficientes de seguridad en la barra de tiro



Fuente: Herramienta CAE

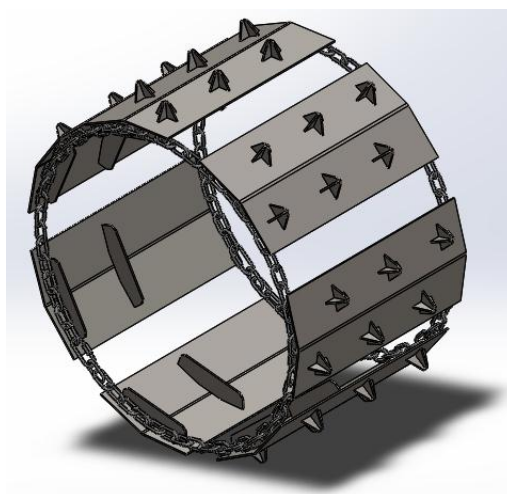
La barra de tiro en el aspecto de flexión presenta un valor máximo de deformación de 0,6 mm y un coeficiente de seguridad de 1,24 valores que garantizan un buen desempeño sin permitir que se produzca una deformación plástica o el colapso de la misma.

6.2.3 Ruedas de pendiente.

6.2.3.1 Estructura principal

a) *Pre-proceso.* Las ruedas de pendiente se encuentran divididas en pequeñas secciones por lo que se le analizará en tramos distintos.

Figura 89. Modelado de rueda para pendiente



Fuente: Herramienta CAD

Datos del problema

La carga que soportará será netamente el peso del motocultor, dicho peso será calculado con la ecuación 8

$$P = m \times g$$

$$P = 200 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P = 2000 \text{ N}$$

Selección del material.

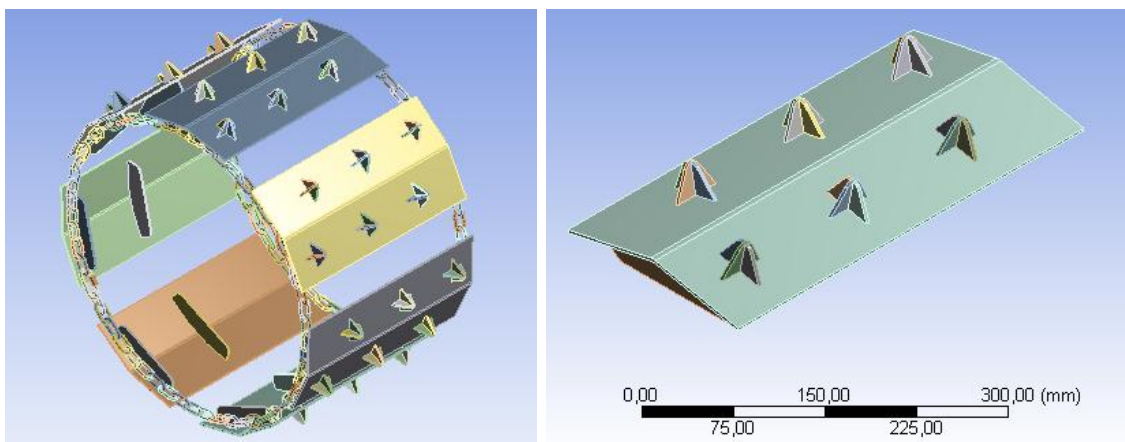
Resistencia. El material metálico que se debe emplear es un acero al carbono estructural, debido a que estos son los mejores materiales destinados a la construcción de estructuras, es decir se utilizará perfilería estructural que garantizará su buen desempeño.

Disponibilidad en el mercado. Los aceros estructurales se encuentran con gran facilidad en el mercado local, se lo encuentra en forma de platinas, tubos circulares cuadrados y rectangulares, y en muchas otras formas más, facilitando las opciones de diseño.

b) Solución de análisis

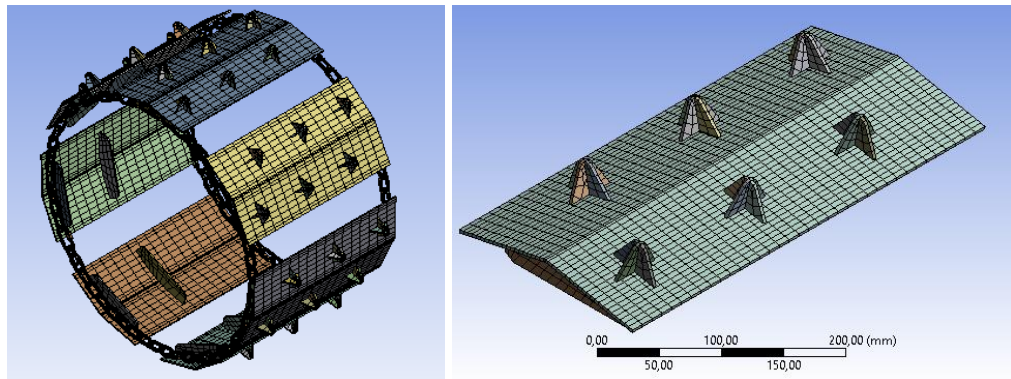
En primer lugar se debe ingresar la estructura fundamental al entorno del MEF, se debe considerar que el peso total del motocultor reposará en un solo elemento de la rueda, por lo que el análisis se centrará solo en uno de ellos

Figura 90. Rueda en Entorno MEF



Fuente: Herramienta CAE

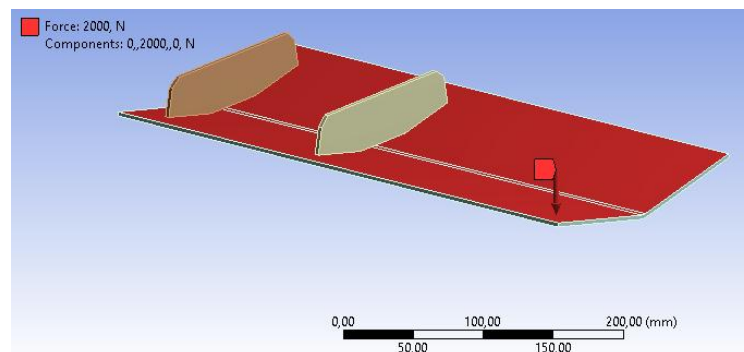
Figura 91. Mallado de ruedas de pendiente



Fuente: Herramienta CAE

Asignación de condiciones de contorno

Figura 92. Asignación de cargas

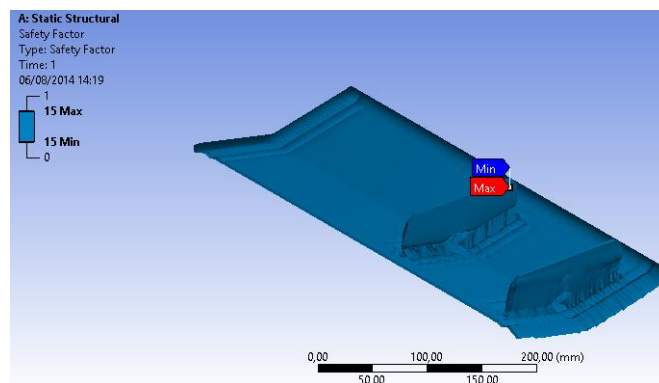


Fuente: Herramienta CAE

c) Post-proceso

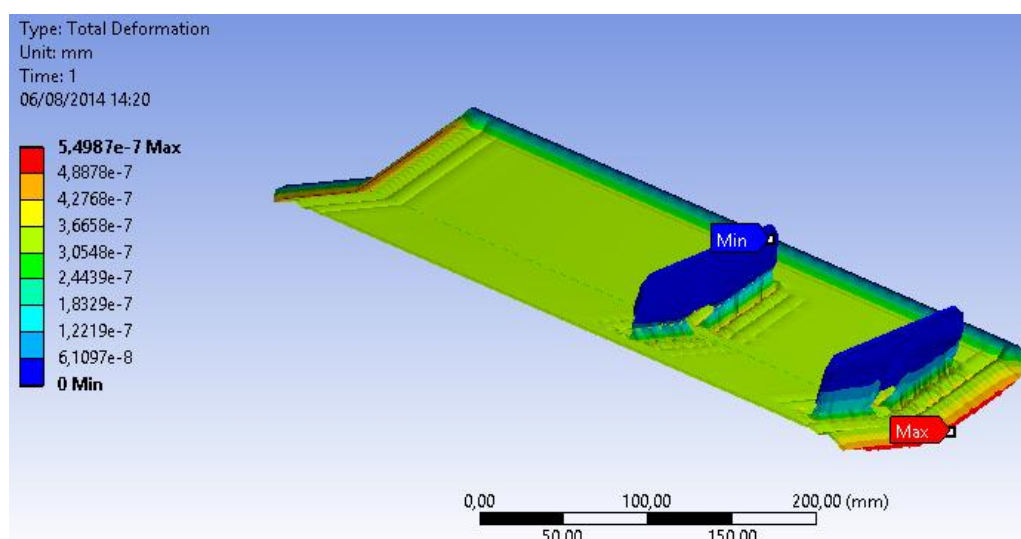
Resultado obtenidos en el MEF

Figura 93. Coeficientes de seguridad



Fuente: Herramienta CAE

Figura 94. Deformación máxima producida



Fuente: Herramienta CAE

Análisis de Resultado.- El análisis se realizó en uno de los elementos de las ruedas, debido a que este sería el estudio más crítico cuando el peso del motocultor se concentre únicamente en uno de estos elementos.

Mediante la Figura N se verifica un valor mínimo de factor de seguridad de 15, y una deformación máxima de $5,5 \times 10^{-7}$ mm generando un diseño aceptable que no presentará fallos al momento de su funcionamiento.

CAPÍTULO VII

7. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y COSTOS.

7.1 Tecnología de la construcción

Una vez que se han definido los diseños de los accesorios agrícolas, se procederá a la construcción de los mismos que no representará una gran dificultad, ya que no requieren procesos industriales complejos porque simplemente se podrían realizar en un lugar que disponga de máquinas y herramientas apropiadas. El primer proceso, es la compra del material para la construcción, los elementos normalizados seleccionados, para luego definir las operaciones industriales necesarias y los procesos adecuados que agilicen la construcción.

7.1.1 Máquinas y herramientas. Con el fin de construir los elementos de los tres accesorios agrícolas se emplean diversos tipos de máquinas herramientas tales como: soldadora, cortadora vertical de disco abrasivo, esmeril, y herramientas manuales como: moladora, taladro, martillos, llaves, flexómetro, escuadras, destornilladores entre otras.

Tabla 22. Lista de herramientas

Designación	Herramientas
H	Taladro
	Moladora
	Limas
	Brocas
	Llaves
	Esmeril
	Martillo
	Alicates
	Destornilladores

Fuente: Autores

Tabla 23. Lista de máquinas herramientas y equipos

Designación	Herramientas
M1	Cortadora
M2	Taladro
M3	Soldadora eléctrica

Fuente: Autores

Tabla 24. Designación de instrumentos de medición y verificación

Designación	Herramientas
I	Calibrador
	Escuadra
	Flexómetro
	Nivel
	Regla metálica

Fuente: Autores

7.1.2 Operaciones tecnológicas. A continuación se enlistará las operaciones tecnológicas que son necesarias para construir cada uno de los elementos del arado de cincel, remolque y ruedas de pendiente.

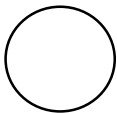

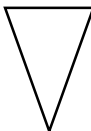
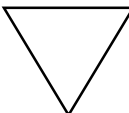
Tabla 25. Operaciones Tecnológicas

No.	Operaciones
1	Medición y Trazado
2	Corte
3	Esmerilado
4	Taladrado
5	Soldado
6	Doblado (Forja)
7	Empernado
8	Pulido
9	Pintado

Fuente: Autores

7.1.3 *Curso de construcción.* La simbología para realizar el cursograma de construcción se muestra en la Tabla 26.

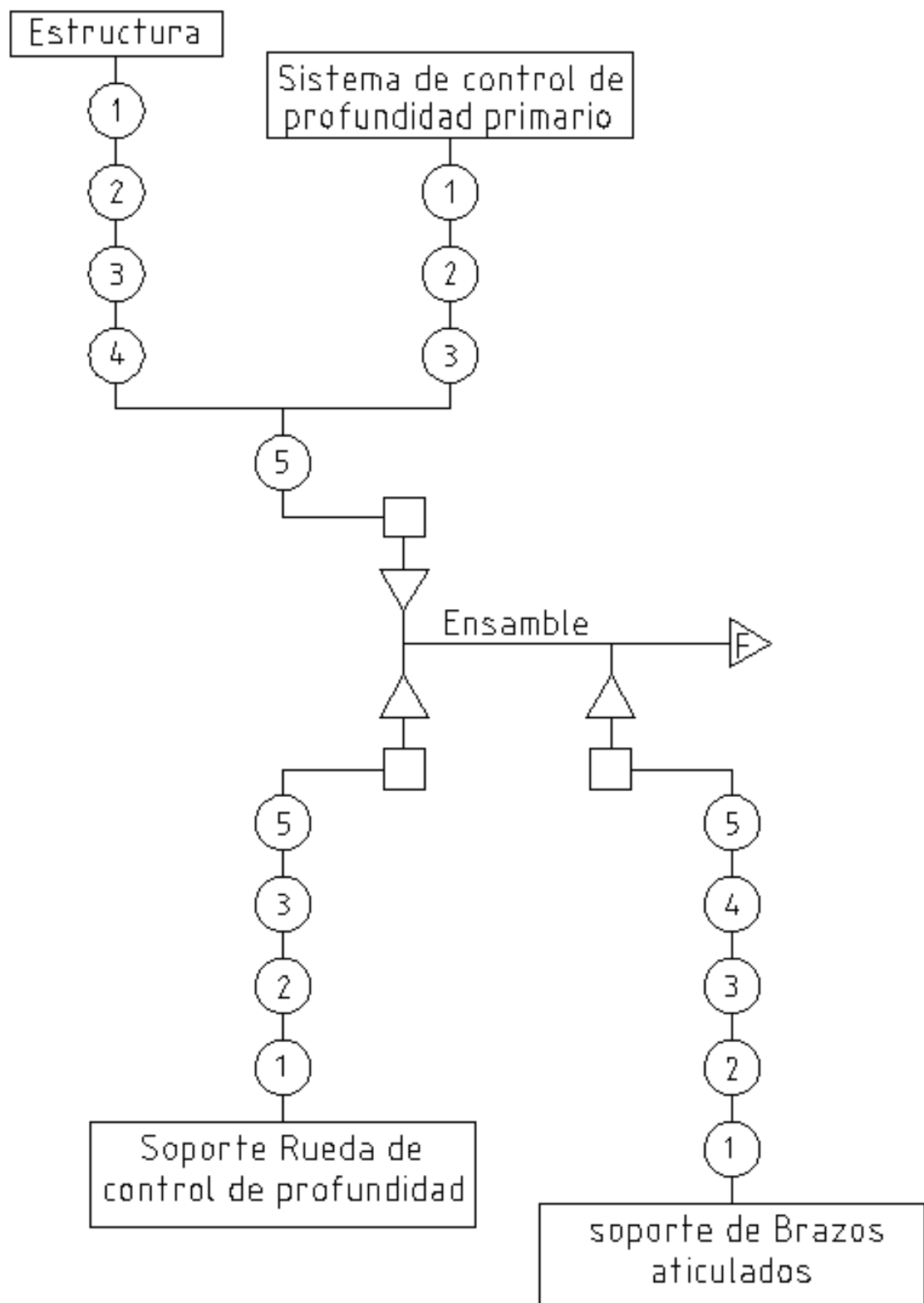
Tabla 26. Cursograma de construcción

Símbolo	Interpretación
	OPERACIONES
	INSPECCIÓN
	TRASLADO
	TÉRMINO DE PROCESO

Fuente: Autores

7.1.3.1 *Arado de cincel.* En el siguiente gráfico mediante las respectivas figuras se presentan los diversos cursogramas para la construcción del arado de cincel.

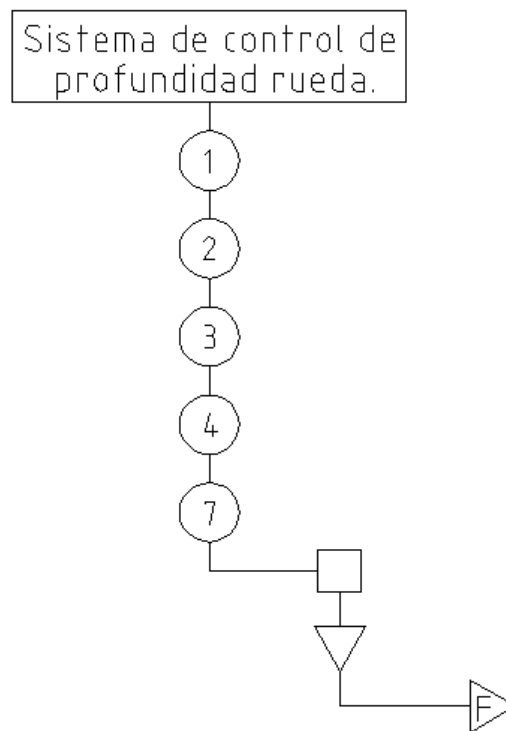
Figura 95. Cursograma bastidor



Fuente: Autores

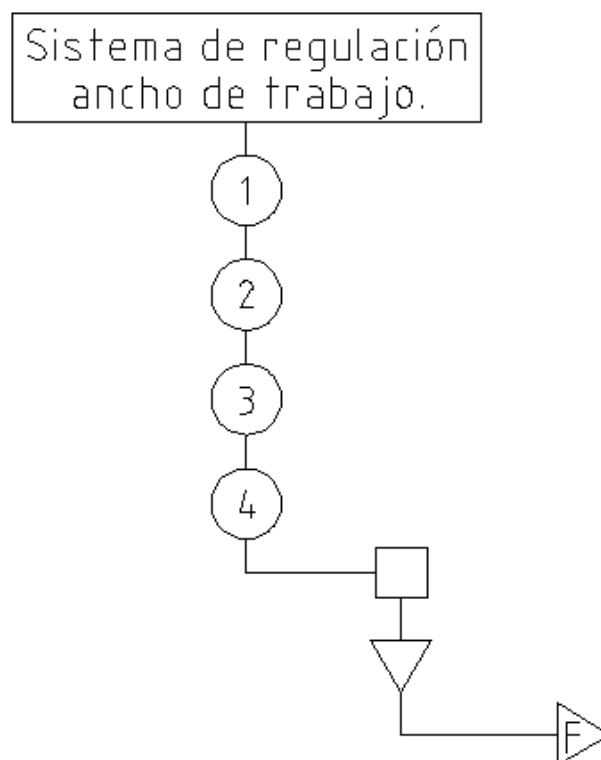
Se muestra los diferentes procesos que se hacen necesarios para la construcción de los prototipos

Figura 96. Cursograma sistema de control de profundidad



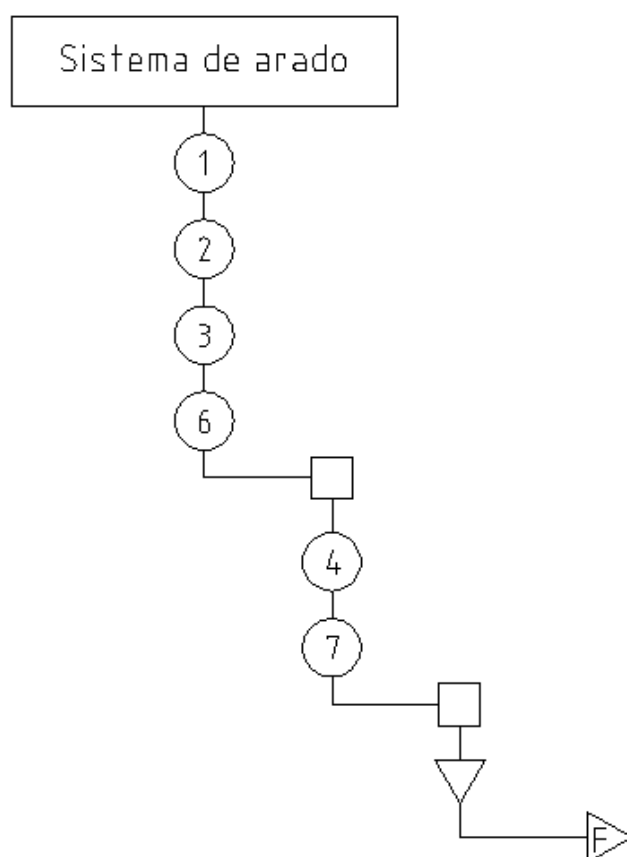
Fuente: Autores

Figura 97. Cursograma sistema de regulación de ancho de trabajo



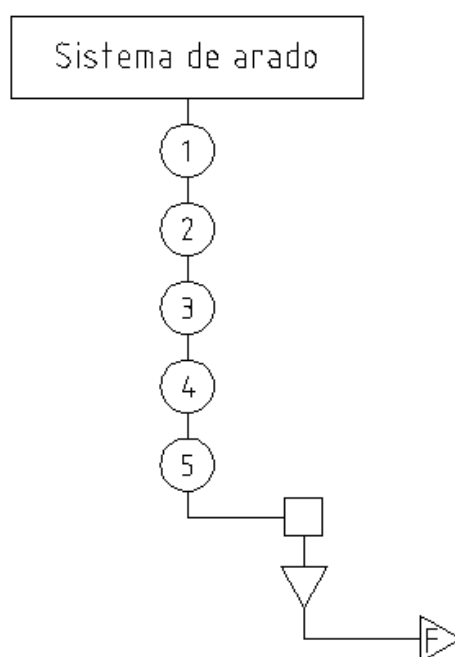
Fuente: Autores

Figura 98. Cursograma sistema de arado



Fuente: Autores

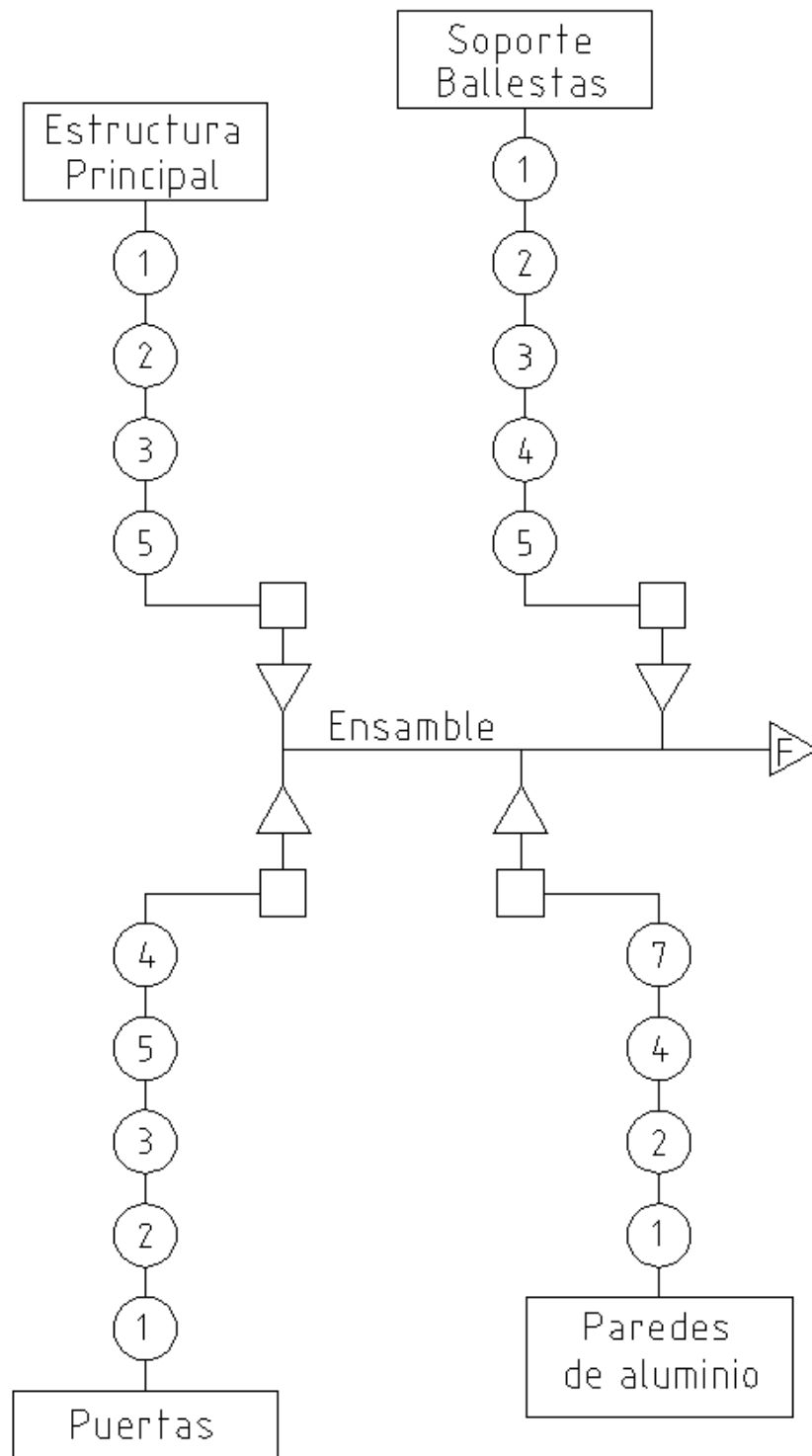
Figura 99. Cursograma sistema de acople



Fuente: Autores

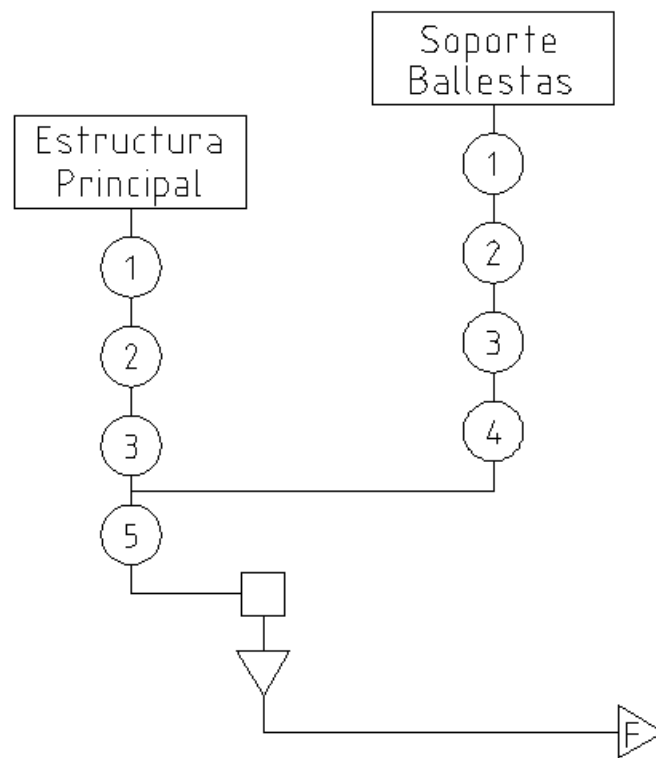
7.1.3.2 Remolque. En el siguiente gráfico mediante las respectivas figuras se presentan los diversos cursogramas para la construcción del remolque.

Figura 100. Cursograma de bastidor



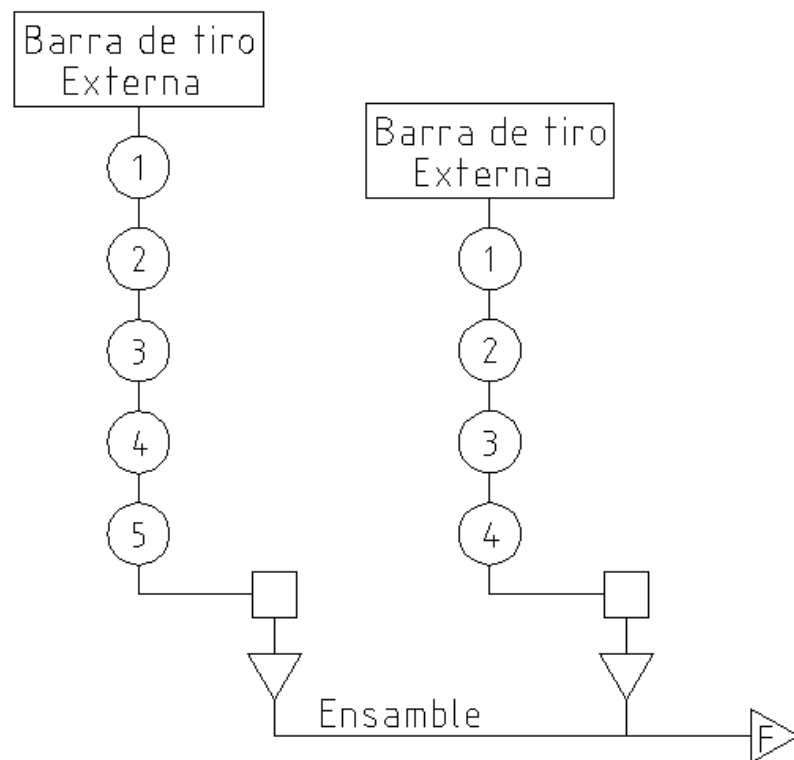
Fuente: Autores

Figura 101. Eje principal



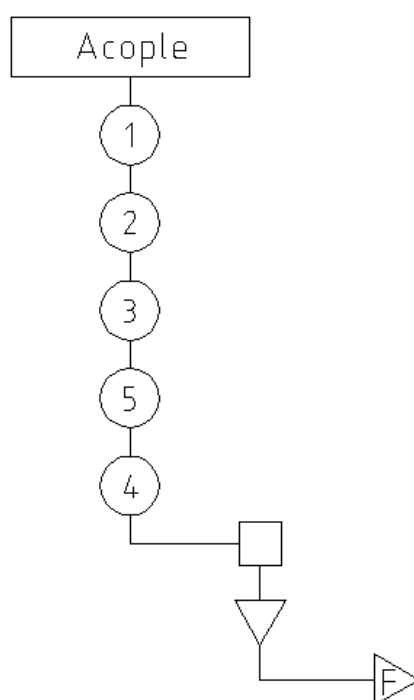
Fuente: Autores

Figura 102. Barra de tiro



Fuente: Autores

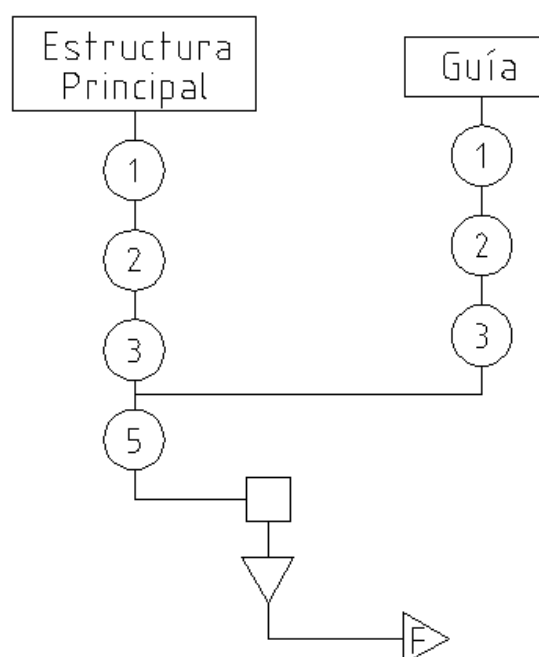
Figura 103. Sistema de Acople



Fuente: Autores

7.1.3.3 Ruedas de pendiente. En el siguiente gráfico mediante las respectivas figuras se presentan los diversos cursogramas para la construcción de las ruedas de pendiente.

Figura 104. Sistema de rodadura (Acople)



Fuente: Autores

7.1.4 Cronogramas de actividades en la construcción

7.1.4.1 Arado cincel

Tabla 27. Cronograma de actividades del arado de cincel

Día	Actividades
1	Compra de materiales para la construcción del arado cincel.
2	Trazado del material acorde a las dimensiones necesarias.
3	Corte de material con dimensiones definitivas.
3	Clasificación de los materiales para la construcción de cada sistema del arado.
4	Soldadura de la estructura principal. Limpieza y esmerilado de las juntas soldadas.
5	Taladrado de orificios para pivote principal y pernos de enlace de brazos pivotados. Taladrado y soldado de guía de rueda de control de profundidad.
6	Corte de mecanismo de control de profundidad Soldadura y Armado del mecanismo
7	Medida y corte de sujetadores de brazos de arado Taladrado de sujetadores de brazos de arado Soldado de sujetadores de brazos de arado
8	Soldadura de guías en los brazos del control de ancho de trabajo Corte de brazos de arado
9	Doblado y taladrado de brazos de arado Taladrado de placa para acople de arado cincel
10	Corte de Eslabones guía de regulación ancho de trabajo Taladrado de alojamientos de pasadores
11	Corte de platinas para sistema de control de profundidad Soldadura
12	Corte y taladrado de platinas para acople de arado Soldadura del acople de arado
13	Elaboración de rejas de arado de cincel Limpieza de soldaduras de todo el accesorio
14	Pulido de elementos del arado

Fuente: Autores

7.1.4.2 Remolque

Tabla 28. Cronograma de actividades del remolque

Día	Actividades
1	Adquisición de materiales para la construcción del remolque.
2	Trazado del material acorde a las dimensiones necesarias.
3	Corte de material con dimensiones definitivas. Clasificación de materiales para la construcción de cada sistema del remolque.
4	Soldadura de la estructura principal.
5	Limpieza de soldaduras. Corte de guías de ballesta.
6	Medición y corte del eje principal.
7	Corte de platina para montaje de manzanas. Taladrado de placas.
8	Cortado de material para puertas de remolque.
9	Soldadura de puertas. Limpieza de uniones soldadas.
10	Soldadura de platinas soporte de paredes de aluminio y madera.
11	Taladrado para pernos de fijación de paredes de aluminio y madera.
12	Instalación de bisagras y aldabas de puertas laterales y puerta posterior.
13	Corte y soldadura de postes posteriores para puertas Corte de las guías de postes de puerta Soldadura de guías
14	Corte de material para barra de tiro. Taladrado de agujeros para pernos de barra de tiro.
15	Soldadura de barra de tiro y de refuerzos. Limpieza de juntas soldadas.
16	Corte de material para acople. Taladrado para alojamiento de pasador de acople.
17	Soldadura de acople. Corte del aluminio utilizado para las paredes. Taladrado de paredes de aluminio.

Tabla 28. Continuación

18	Armado de sistema de Rodadura. Armado de sistema de suspensión. Montaje de sistema de rodadura y suspensión a la estructura principal.
19	Corte de tablas que servirán para las paredes y la base del remolque Limpieza de silla para remolque
20	Fijación de la silla al arado
21	Limpieza del remolque Colocación de desoxidante
22	Pintado de la estructura

Fuente: Autores

7.1.4.3 Ruedas de pendiente

Tabla 29. Cronograma de actividades del remolque

Día	Actividades
1	Adquisición de materiales para la construcción de ruedas
2	Corte de material acorde a las dimensiones requeridas
3	Soldadura de placas Limpieza de uniones soldadas
4	Soldadura de guías para rueda
5	Corte de Puntas de Rueda Soldadura de Puntas de rueda
6	Soldadura de puntas a placas de ruedas
7	Soldadura de cadenas y seguros de ruedas

Fuente: Autores

7.2 Costos

Una vez finalizada la construcción, en el presente capítulo se procederá a resumir los costos realizados para la construcción de los siguientes prototipos:

- Arado de cincel de brazos rígidos
- Remolque para motocultor con capacidad de 750 kg
- Ruedas de pendiente

7.2.1 Costos directos

- Materiales y accesorios
- Mano de obra
- Equipos y herramientas

7.2.2 Costos indirectos.

- Costos ingenieriles
- Utilidad
- Imprevistos

A continuación se detallará los materiales y sus respectivos costos que se emplearon para la construcción de los tres accesorios agrícolas.

7.2.3 Arado de cincel

7.2.3.1 Materiales y accesorios. A continuación se detalla los costos de materiales y accesorios utilizados para la construcción del prototipo:

En la siguiente tabla se especifica los gastos producidos por ejes, platinas pernos, tuercas, arandelas y accesorios los mismos que serán empleados en la construcción del arado de cincel.

Tabla 30. Costos materiales y accesorios

EJES						
Detalle	Tipo	Cantidad	Designación	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Valor (USD)
EJES	Sólido	2	NTE INEN 2167	60	32	4
ACERO	Hueco	1	11/2 x 2	150	31,75	5,8
AISI 1020	Hueco	1	11/2 x 4	150	38,1	4,82
Varilla	Lisa	1	NTE INEN 1020	30	12	1,5
TOTAL						16,12

Tabla 30. Continuación

PLATINAS						
Detalle	Cant.	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
Platinas de acero estructural	2	PL 50 x 12	500	50	12	1,91
	1	PL 38 x 12	300	38	12	0,38
	4	PL 38 x 6	230	38	6	1,09
	2	PL 38 x 6	210	65	6	0,54
	2	PL 38 x 12	200	38	12	0,63
	1	PL 50 x 12	665	50	12	1,34
	1	PL 50 x 12	600	50	12	1,15
	1	PL 50 x 9	200	50	9	0,71
	2	PL 100 x 9	500	100	9	3,07
	2	PL 50 x 6	100	50	6	0,34
	1	PL 75 x 6	120	75	6	0,36
	2	PL 38 x 6	150	38	6	0,35
TOTAL						11,87

PERNOS					
Cantidad	Detalle	Tipo rosca	Tamaño (mm)	Diámetro (mm)	Valor (USD)
12	M12	Gruesa	100	12	2,16
2	M16	Gruesa	100	16	0,54
TOTAL					2,7

TUERCAS Y ARANDELAS			
Cantidad	Detalle	Medida (mm)	Valor (USD)
12	Tuercas	12	0,6
2	Tuercas	16	0,14
24	Arandelas	12	0,72
4	Arandelas	16	0,16
TOTAL			1,62

Tabla 30. Continuación

ACCESORIOS			
Cantidad	Detalle	Descripción	Valor (USD)
1	Unidad	Rueda de 22 cm ,presión 5 psi	7
2,5	libras	Electrodos 6011	4,75
2	Libras	Electrodos 7018	4,06
½	Galón	Pintura	5,2
¼	Litro	Antioxidante	2,6
5	Unidad	Lijas	2
1/4	Litro	Tiñer	0,53
2	Unidad	Rejas de arado	32
TOTAL			58,14

Fuente: Autores

El valor total entre los materiales y accesorios para el arado de cincel es de: 117,28 USD

Costos de equipos y maquinaria utilizados

Tabla 31. Costos por equipos y maquinaria utilizados

Costos por equipos			
Descripción	Costo x Hora	Horas de equipo	Valor (USD)
Cizalla	5,5	1	5,5
Taladro	12,5	0,3	3,75
Soldadora Eléctrica	4	5	20
Equipo de pintura	6,5	1	6,5
Esmeril	0,8	4	3,2
Prensa de banco	0,5	2	1
Cortadora	1,5	3	4,5
TOTAL			44,45

Fuente: Autores

Costos por mano de obra

Tabla 32. Costos por mano de obra

Costos mano de obra			
Trabajador	Precio x Hora	Horas	Valor (USD)
Maestro Mecánico	3	15	45
Soldador	2,5	6	15
Tornero	2	2	4
Herrero	2	3	6
TOTAL			70

Fuente: Autores

Costos por transporte

Tabla 33. Costos por transporte

Costos Transporte			
Detalle	Precio x Hora	Total Horas	Valor (USD)
Transporte de materiales a la obra	1,5	10	15
Transporte de maquinaria	2	5	10
Transporte de la máquina	2	3	6
TOTAL			31

Fuente: Autores

Tabla 34. Valor total de costos directos

Detalle	Valor Total (USD)
Materiales y accesorios	90,45
Maquinaria y equipo	44,45
Mano de obra	70
Transporte	31
TOTAL	236,2

Fuente: Autores

El valor total de los costos directos para el arado de cincel es de: **236,2 USD**

Costos indirectos

Tabla 35. Costos indirectos

Detalle	Cantidad	Valor (USD)
Diseño y supervisión	15 %	34,83
Imprevistos	5 %	11,61
TOTAL		46,44

Fuente: Autores

El costo total del arado de cincel se obtiene de la suma de los costos directos e indirectos:

Tabla 36. Costo total del arado de cincel

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	236,2
Costos indirectos	46,44
TOTAL	282,64

Fuente: Autores

El costo total del arado de cincel es: **282,64 USD.**

El costo total aproxima de la construcción del arado de cincel está establecido en 282,64 USD que es un precio adecuado considerando sus competidores existentes en mercado, para la determinación de su precio se consideraron los precios directos e indirectos entre los cuales consta transporte de materia prima y producto terminado, materiales, mano de obra entre otras.

7.2.4 *Remolque*

7.2.4.1 Materiales y accesorios. A continuación se detalla los costos de materiales y accesorios utilizados para la construcción del prototipo:

Tabla 37. Costos por materiales y accesorios utilizados

TUBOS						
Detalle	Tipo	Designación	Longitud (mm)	Lado (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
Tubo de acero estructural	Cuadrado x 2	1 ½	536	40	3	1,32
	Cuadrado x 1	1 ½	450	40	3	0,77
	Cuadrado x 3	2	1186	50	2	11,7
	Cuadrado x 3	2	1100	50	2	16,04
	Cuadrado x 4	2	498	50	2	8,54
	Cuadrado x 2	2	1690	50	2	14,31
	Cuadrado x 1	2 3/8	900	60	3	2,67
	Rectangular x 4	¾ x 11/2	1560	20 x 40	2	11,16
	Rectangular x 6	¾ x 11/2	415	20 x 40	2	1,66
	Rectangular x 4	¾ x 11/2	1100	20 x 40	2	7,38
TOTAL						75,55
PLATINAS						
Detalle	Cantidad	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
Platinas de acero estructural	6	PL 25 x 3	378	25	3	1,74
	2	PL 25 x 4	450	25	4	0,81
	2	PL 25 x 4	532	25	4	0,96
	2	PL 30 x 6	255	30	6	0,54
	4	PL 30 x 6	100	30	6	0,42
	2	PL 38 x 12	120	38	12	0,3
	2	PL 38 x 6	55	38	6	0,15
	2	PL 50 x 3	72	50	3	0,26
	1	PL 50 x 6	150	50	6	0,27
	2	PL 50 x 6	155	50	6	0,56
	2	PL 50 x 6	315	50	6	1,13
TOTAL						7,14

PERNOS					
Cantidad	Detalle	Tipo rosca	Tamaño (mm)	Diámetro (mm)	Valor (USD)
6	M18	Grueso	100	18	1,62
10	M12	Grueso	100	12	1,5
TOTAL					3,12

TUERCAS Y ARANDELAS			
Cantidad	Detalle	Medida (mm)	Valor (USD)
24	Arandela	18	0,96
10	Arandela	12	0,3
10	Tuerca	18	0,8
6	Tuerca	12	0,3
TOTAL			2,36

ACCESORIOS			
Cant.	Unidad	Detalle	Valor (USD)
2	Unidad	Neumáticos ,presión 30 psi	120
2	Unidad	Hojas de aluminio deslizante	12,5
2	Unidad	Ballestas	80
7	Unidad	Tablas de madera	18
0,2	Metro	Tubo galvanizado	8
4	Unidad	Cerrojo tensor	13
6	Unidad	Bisagras 1" x 2"	17,4
2	Unidad	Manzanas de vehículo	60
2	Unidad	Acoples	15
1	Litros	Pintura	8,5
5	Libras	Electrodos 6011	9
3	Libras	Electrodos 7018	6,09
¾	Litros	Tiñer	0,75
½	Unidad	Antioxidante	5,2
6	Unidad	Lijas	2,4
TOTAL			375,84

Fuente: Autores

Costos de equipos y maquinaria utilizados

Tabla 38. Costos de equipos y maquinaria utilizados

Descripción	Costo x Hora	Horas equipo	Valor (USD)
Cizalla	5,5	2	11
Taladro	12,5	0,2	2,5
Soldadora Eléctrica	4	7	28
Equipo de pintura	6,5	2	13
Esmeril	0,8	6	4,8
Prensa de banco	0,5	3	1,5
Cortadora	1,5	4	6
TOTAL			66,8

Fuente: Autores

Costos por mano de obra

Tabla 39. Costos por mano de obra

Trabajador	Precio x Hora	Horas	Valor (USD)
Maestro Mecánico	3	18	54
Soldador	2,5	8	20
Tornero	2	3	6
Herrero	2	4	8
TOTAL			94

Fuente: Autores

Costos por transporte

Tabla 40. Costos por transporte

Detalle	Precio x Hora	Total horas	Valor (USD)
Transporte de materiales a la obra	1,5	15	22,5
Transporte de maquinaria	1,5	8	12
Transporte de la máquina	1,5	5	7,5
TOTAL			42

Fuente: Autores

Costos directos

Tabla 41. Valor total costos directos

Detalle	Valor total (USD)
Materiales y accesorios	464,01
Mano de obra	94
Maquinaria y equipo	66,8
Transporte	42
TOTAL	666,81

Fuente: Autores

El valor total de costos directos del remolque es: **666,81 USD**

Costos indirectos

Tabla 42. Costos indirectos

Detalle	Cantidad	Valor (USD)
Diseño y supervisión	15 %	100,02
Imprevistos	5 %	33,34
TOTAL		133,36

Fuente: Autores

El costo total del remolque se obtiene de la suma de los costos directos e indirectos:

Tabla 43. Costo total del remolque

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	666,81
Costos indirectos	133,36
TOTAL	800,17

Fuente: Autores

El costo total del remolque es: **800,17 USD.**

7.2.5 Ruedas para pendiente

7.2.5.1 Materiales y accesorios

A continuación se detalla los costos de materiales y accesorios utilizados para la construcción del prototipo:

Tabla 44. Costos de materiales y accesorios utilizados

PLATINAS						
Detalle	Cantidad	Designación	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Valor (USD)
Platinas de acero estructural	28	PL 100 x 6	500	100	6	23,22
	1	PL 30 x 3	8000	30	3	7,56
TOTAL						30,78

ACCESORIOS			
Cantidad	Unidad	Detalle	Valor (USD)
4	Unidad	Cadena pulida ¼	36
4	Unidad	Tensor ojo – gancho M10	5
8	Unidad	Mosquetones ¼"	6
4	Unidad	Destorcedor ¼"	11,2
1	Litro	Pintura	2,6
4	Libra	Electrodos 6011	7,2
1	Libra	Electrodos 7018	2,03
¼	Litro	Antioxidante	2,6
¼	Litro	Tiñer	0,53
4	Unidad	Lijas	1,6
TOTAL			74,76

Fuente: Autores

Los costos para las ruedas de pendientes dependerán en su gran mayoría de los costos por materiales, debido a que el trabajo de construcción no significa mayor complejidad y no emplea procesos tecnológicos complejos, pero si se empleará relativamente grandes cantidades de platinas para su construcción.

Costos de equipos y maquinaria utilizados

Tabla 45. Costo de equipos y maquinas utilizados

Descripción	Costo x Hora	Horas equipo	Valor (USD)
Cizalla	5,5	0,5	2,75
Soldadora Eléctrica	4	3	12
Equipo de pintura	6,5	0,5	3,25
Esmeril	0,8	1	0,8
Prensa de banco	0,5	1	0,5
Cortadora	1,5	2	3
TOTAL			22,3

Fuente: Autores

Costos por mano de obra

Tabla 46. Costo por mano de obra

Trabajador	Precio x Hora	Horas	Valor (USD)
Maestro Mecánico	3	8	24
Soldador	2,5	4	10
TOTAL			34

Fuente: Autores

Costos por transporte

Para los costos por transporte se considerará los precios por hora y el tiempo que se empleó para el transporte.

Tabla 47. Costo por transporte

Detalle	Precio x Hora	Total horas	Valor (USD)
Transporte de materiales a la obra	1,5	6	9
Transporte de maquinaria	1,5	4	6
Transporte de la máquina	1,5	3	4,5
TOTAL			19,5

Fuente: Autores

Costos directos

Tabla 48. Valor total de costos directos

Detalle	Valor total (USD)
Materiales y accesorios	105,54
Mano de obra	34
Maquinaria y equipo	22,3
Transporte	19,5
TOTAL	181,34

Fuente: Autores

El valor total de los costos directos es: **194,4 USD.**

Costos indirectos

Tabla 49. Costos indirectos

Detalle	Cantidad	Valor
Diseño y supervisión	15 %	27,2
Imprevistos	5 %	9,07
TOTAL		36,27

Fuente: Autores

El costo total de las ruedas de pendiente se obtiene de la suma de los costos directos e indirectos:

Tabla 50. Costo total de las ruedas de pendiente

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	181,34
Costos indirectos	36,27
TOTAL	217,61

Fuente: Autores

El costo total de las ruedas de pendiente es: **217,61 USD.**

7.2.6 Costo total del proyecto

Tabla 51. Costo total del proyecto

Descripción	Valor total (USD)
Arado de cincel con brazos rígidos	267,61
Remolque	800,17
Ruedas para pendiente	233,28
TOTAL	1301,06

Fuente: Autores

CAPÍTULO VIII

8. PRUEBAS DE PROTOTIPOS

8.1 Alcance

Para el procedimiento de pruebas, se empleará métodos pertenecientes por CENEMA-INIFAP, 2014 y por Ashburner Jhon, las pruebas serán de taller y se buscará evaluar parámetros importantes de desempeño del arado de cincel y remolque.

8.2 Pruebas de Motocultor

8.2.1 *Datos de Motocultor.*

Marca: YTO

Tipo: Eje sencillo de propósito dual para tracción y transmisión

Modelo: DF-15L

Dimensiones (L x A x Alt mm): 2680 x 960 x 1250

Peso (Kg): 509/499

Fuerza de Tracción: 221 kg-f

Potencia de salida (kW/HP): 12/16

8.2.2 *Pérdida de potencia debido a la altura.* Empleando la ecuación 25 y sabiendo que las pruebas se las realizaron en la ciudad de Riobamba que se ubica a una altura de 2750 m.s.n.m. calculamos el factor de corrección debido a la altura.

$$\eta_a = \left(1 - \frac{h}{10000}\right)$$

$$\eta_a = \left(1 - \frac{2750}{10000}\right)$$

$$\eta_a = 0,725 = 73\%$$

Se determina que el motocultor desarrollará solamente el 73% de su potencia, calculando su pérdida mediante la ecuación 26.

$$P_a = (1 - \eta_a) * P_e$$

$$P_a = (1 - 0,725) * 12 \text{ kW}$$

$$P_a = 3,3 \text{ kW}$$

8.2.3 Pérdida de potencia debido a la transmisión. Asumiremos un factor de pérdida por transmisión de 0,95 que es un valor muy típico para transmisiones mecánicas, dicho valor será reemplazado en la ecuación número 27, así tenemos:

$$P_t = \eta_a(1 - \eta_t)P_e$$

$$P_t = 0,725(1 - 0,95)(12 \text{ kW})$$

$$P_t = 0,435 \text{ Kw} \cong 0,45 \text{ Kw}$$

8.2.4 Velocidad de avance. Uno de los datos importantes que se debe considerar al momento de utilizar un motocultor es determinar el porcentaje de patinaje que se presenta en sus ruedas, para lo cual se emplea la ecuación 31, pero antes se hace necesario el cálculo de la velocidad real de avance del motocultor en el terreno de pruebas.

Para la determinación de la velocidad de avance se realizó la prueba en una distancia de 15 m de longitud, y se procedió a tomar el tiempo que se presenta en la tabla 52.

Tabla 52. Valores de tiempo del desplazamiento del motocultor en 15 m

Número	Tiempo (seg.)
1	37,5
2	38,5
3	39
4	37,8
5	39,2
6	38,5
7	38,8
Promedio	38,5

Fuente: Autores

Empleando la ecuación física de la velocidad tenemos:

$$V = \frac{e}{t}$$

$$V = \frac{15 \text{ m}}{38,5 \text{ s}}$$

$$V = 0,389 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Con la ecuación 31, calculamos el porcentaje de patinaje empleando la velocidad real de avance y con la velocidad proporcionada en el catálogo de $V_n = 1,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

$$S = \frac{V_n - V}{V_n}$$

$$S = \frac{1,6 - 1,4}{1,6}$$

$$S = 0,125 = 12,5\%$$

Se obtuvo un valor de 12,5 % de patinaje, el mismo que se encuentra dentro de los valores adecuados según John Ashburner, el autor indica que el patinaje debe encontrarse entre 12% y 15%. Es necesario indicar que para un trabajo óptimo, en caso de que los valores no se hayan encontrado dentro de los parámetros hubiéramos tenido que seleccionar un contrapeso ideal para el motocultor.

8.2.5 Eficiencia del patinaje. Para el cálculo de la eficiencia empleamos ecuación 32

$$\eta_s = 1 - s$$

$$\eta_s = 1 - 0,125$$

$$\eta_s = 0,875$$

8.2.6 Pérdida de potencia por patinaje. La ecuación 33 nos proporcionará la pérdida de potencia por patinaje.

$$P_s = s(P_e - P_a - P_t)$$

$$P_s = 0,125(12 \text{ kW} - 3,3 \text{ kW} - 0,45 \text{ kW})$$

$$P_s = 1,03 \text{ kW}$$

8.3 Pruebas de Arado de cincel

En el arado de cincel será necesario realizar una prueba de medición de profundidad, para determinar su continuidad, adicionalmente se realizará una prueba de patinaje del motocultor con el accesorio.

8.3.1 Profundidad de trabajo. La profundidad de trabajo se determinará mediante la medición de la profundidad a lo largo de la superficie donde actuó el arado.

Tabla 53. . Medidas de la profundidad de trabajo

Número	Profundidad
1	17
2	15
3	16
4	14
5	13
6	15
7	14
8	17
Promedio	15,125

Fuente: Autores

Las medidas fueron tomadas en un largo de 3 m, mediante la utilización de una regla metálica, y como se puede visualizar los valores obtenidos son muy próximos, teniendo un arado continuo.

Es importante señalar que las pruebas del arado se las realizaron en un terreno de alta compactación, que no ha sido destinado para agricultura, convirtiéndose en un terreno de gran dificultad para labranza agrícola.

Figura 107. Toma de medida de la profundidad de arado



Fuente: Autores

Figura 108. Terreno arado



Fuente: Autores

Figura 109. . Surco de Arado cincel.



Fuente: Autores

CAPITULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en el diseño de un arado de cincel, de un remolque y de unas ruedas de pendiente se han llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

9.1 Conclusiones

Los accesorios agrícolas contruidos son prototipos, razón por la cual, el margen de seguridad considerado para el proceso de diseño de cada uno de los implementos es conservador, pues se desconocen algunos efectos secundarios actuantes sobre dichos elementos.

La investigación de las características mecánicas del suelo contribuyó a la determinación del diseño más efectivo para cada uno de los accesorios agrícolas (Arado de cincel, remolque, ruedas de pendiente y segadora de pastos).

Se consiguió un diseño confiable y de fácil operación debido a que el diseño de los equipos, se realizaron en base a las necesidades y requerimientos del usuario (agricultor).

Los materiales empleados, y elementos seleccionados se encuentran disponibles en el mercado nacional favoreciendo la adquisición de repuestos, en caso de ser necesarios.

Los equipos contruidos mostraron considerables ventajas en tamaño, peso y costo a relación de los existentes en el mercado.

La metodología de Pahl y Beitz que fue utilizada en el desarrollo de la presente tesis, es una valiosa metodología que permite determinar mejoras en el estudio e investigación para obtener un diseño adecuado.

Los arados de cincel se constituyen en superiores opciones a los tradicionales sistemas de arado, debido a su simplicidad constructiva y costo.

Los ángulos de curvatura de los brazos del arado, estarán en base al ángulo de penetración más apropiado que deberá estar entre 25 ° a 45 °.

La continuidad del surco de arado, dependerá de la velocidad de avance del motocultor, del tipo de suelo y la intensidad de fuerza que genera el operador sobre el arado.

Se hace necesario, la determinación del porcentaje de patinaje del motocultor, para determinar el contrapeso adecuado que permita su mejor desempeño.

El remolque tiene una capacidad máxima de 750 kg que lo hace propicio para satisfacer las típicas necesidades del agricultor.

El remolque presenta altos beneficios en costo con referencia a los productos existentes en el mercado, adicionalmente cuenta con un diseño versátil que le permite la fácil adaptación a las necesidades del cliente.

9.2 Recomendaciones

Modificar el sistema de sujeción de las barras de arado, que impidan el giro de las mismas mientras se realiza el arado.

Ubicar refuerzos en los acoples tanto del arado como del remolque para aumentar su fiabilidad.

Añadir un sistema de apertura y cierre rápido para el mecanismo de regulación del ancho de trabajo del arado cincel.

Diseñar un mecanismo que permita el desmontaje y el mantenimiento del sistema de regulación del ángulo de ataque del arado cincel.

Para disminuir el esfuerzo producido en el acople del remolque, se recomienda mover el eje principal de las ruedas para disminuir los momentos torsionales.

Para garantizar el correcto desempeño de las soldaduras, se recomienda realizar un tratamiento térmico a la zona afectada térmicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashburner, John y Sims, Brian. 1984.** *Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza*. Costa Rica : IICA, 1984.
- Cascajosa, Manuel. 2005.** *Ingeniería de Vehículos*. México D.F : Tébar, 2005.
- CENEMA-INIFAP. 2014.** [En línea] 14 de 03 de 2014. [Citado el: 14 de 07 de 2014.] [www.inifap.gob.mx/.../Protocolo_de_motocultores,_PPM-C0408_3%20\(1\). pdf](http://www.inifap.gob.mx/.../Protocolo_de_motocultores,_PPM-C0408_3%20(1).pdf).
- Cross. 1999.** *Proceso de diseño*. 1999.
- DIPAC.** *Catálogo de acero*.
- Icaza. 2009.** *Proceso de diseño mecánico*, Madrid, 2009
- Khurmi, R S y Gupta, J. K. 2005.** *Machine Design*. s.l. : Eurasia, 2005.
- Linares, Pilar. 1996.** *Maquinaria de Recolección de forrajes*. Madrid : s.n., 1996.
- Negrete, Jaime. 2012.** *Diseño de tractores agrícolas en México*. México : s.n., 2012.
- NOVACERO.** *Catálogo de perfilera metálica*.
- Onorato, Agustin. 1986.** *Segadoras descripción y utilidad*. Chile : s.n., 1986.
- Ortiz Cañavate, Jaime y Hernanz, José. 1989.** *Técnica de la Mecanización Agraria*. México : Mundi-Prensa, 1989.
- Shigley, Edward. 1989.** *Manual de diseño de máquina*. México : s.n., 1989.
- Ulrich, Karl. 1990.** *Diseño y desarrollo de productos*. 1990.
- Vandervilt.** *Hajas de ballestas, bujes*.